



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



ESCUELA TÉCNICA
SUPERIOR DE
ARQUITECTURA

AUTOR: Henry Eduardo Torres Peceros

TÍTULO: Análisis y conservación de muros de tierra modelada en contextos arqueológicos del antiguo Perú

TUTORES: Camilla Mileto
Fernando Vegas López-Manzanares

ESCUELA: Escuela Técnica Superior de Arquitectura

CURSO: 2020-2021

TITULACIÓN: Máster Universitario en Conservación del Patrimonio Arquitectónico

CONTENIDO

1.	RESUMEN	3
2.	OBJETIVOS	4
3.	INTRODUCCIÓN	5
3.1.	¿Qué son los muros de tierra modelada?.....	5
3.2.	Contexto histórico y geográfico	6
3.3.	Estado del conocimiento	7
4.	METODOLOGÍA EMPLEADA	8
4.1.	Análisis de las publicaciones existentes.....	9
4.2.	Inspecciones de campo, registros	16
	Huaca La Centinela.....	17
	Huaca Tambo Inga	19
	Huaca Mangomarka.....	21
	Huaca Fortaleza De Campoy.....	23
	Huaca Cerro Respiro	25
	Muralla De Chuquitanta.....	26
	Huaca Palacio Inca de Oquendo	27
4.3.	Análisis físicos.....	29
4.4.	Modelos para estudiar el comportamiento estructural	29
4.5.	Evaluación de las alteraciones.....	29
5.	RESULTADOS OBTENIDOS.....	30
5.1.	Caracterización de los muros de tierra modelada en contextos arqueológicos	30
5.1.1.	Aspectos Constructivos.....	30
5.1.2.	Aspectos estructurales. Hipótesis	51
5.2.	Patologías en muros de tierra modelada	73
5.2.1.	Patologías no estructurales.....	74
5.2.2.	Patologías estructurales.....	78
5.3.	Intervenciones para la conservación	86
5.3.1.	Conservación preventiva.....	86
5.3.2.	Consolidaciones estructurales.....	86
5.4.	Propuesta de conservación de los muros de tierra modelada en contextos arqueológicos ...	92
6.	CONCLUSIONES	95
7.	REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....	97
8.	INDICE DE FIGURAS.....	100

1. RESUMEN

Actualmente en la ciudad de Lima, todavía se pueden apreciar una importante cantidad de obras arquitectónicas de épocas preincaicas, todas ellas construidas con tierra. Los edificios fueron construidos con piedra, adobes y muros monolíticos, con ellos edificaban recintos, plataformas, edificios, murallas, etc.

La tierra modelada que forma parte de los muros monolíticos de tierra fue una técnica constructiva intensamente empleada en el antiguo Perú, consistía en la colocación de porciones de barro húmedo formando hiladas horizontales para posteriormente alisarlas formando los muros. Todo esto se realizaba sin la ayuda de moldes y pisones a diferencia de la otra técnica de muros monolíticos que es la tapia de origen europeo. Lamentablemente se carece de evidencias escritas, gráficas u orales que ayuden a comprender mejor como se hicieron los muros precolombinos, por tanto, la investigación se cimienta en la obtención de evidencias y en el estudio de las obras para formular hipótesis acerca del procedimiento constructivo y los detalles técnicos empleados.

Producto de este trabajo, podemos afirmar que los constructores precolombinos emplearon estrategias de sismo-resistencia en sus edificaciones consistente en el empleo de segmentaciones en estructuras de tierra, con el criterio de mantener los bloques unidos unos a otros mediante planos de apoyo para formar así el volumen arquitectónico final. Esta técnica, convertía un elemento de tierra de comportamiento frágil en uno con un comportamiento próximo a la ductilidad. Se postula que a través de estas uniones se disipaba energía sísmica y se obtenía mayor capacidad de deformación sin el colapso total de la estructura.

2. OBJETIVOS

La presente investigación tiene como objetivo principal profundizar en el conocimiento de una de las técnicas más difundidas en la costa central peruana en épocas anteriores a la colonia: los muros de tierra modelada, una técnica de construcción que se puede inscribir dentro de la gran familia de los muros monolíticos de tierra.

Esta profundización empieza con una revisión de la bibliografía producida acerca de las construcciones precolombinas, llevando a revisar artículos de arquitectos y arqueólogos que han desarrollado investigaciones al respecto. El objetivo es establecer las principales características de los muros de tierra modelada.

Como objetivos específicos, se planteará una explicación objetiva del proceso constructivo de los muros de tierra modelada empleada en el Perú antiguo. Para ello se han empleado la observación y registro de estructuras mediante gráficos de las fases constructivas entre otras estrategias para aproximarse al conocimiento constructivo de la época.

Un tema importante es la investigación del comportamiento durante eventos sísmicos. Una hipótesis de este trabajo sugiere que en los muros de tierra modelada se empleó una metodología que ha permitido que estas estructuras puedan resistir en diverso grado los numerosos terremotos que han sucedido en la costa peruana.

En forma complementaria, los trabajos de conservación realizados en muros construidos con esta técnica merecen una detallada atención en cuanto a las patologías que se pueden identificar, tanto si estas son estructurales o solamente superficiales. Para ello se establecen los factores que las ocasionan y la forma como se manifiestan para una correcta identificación.

Finalmente, luego de todos los conceptos vertidos se desarrolla el procedimiento de conservación, adecuado a los criterios de conservación arqueológica y a las normativas internacionales, sustentados en las características mecánicas de los muros de tierra modelada analizados en la presente investigación.

3. INTRODUCCIÓN

3.1. ¿Qué son los muros de tierra modelada?

La tierra modelada fue una tradición constructiva empleada en el antiguo Perú que consistió en la colocación de masas de barro en estado húmedo-plástico en capas superpuestas, no empleando para ello la compactación y tampoco moldes o encofrados. En los contextos arqueológicos peruanos se pueden apreciar claramente las capas o hiladas que muestran la colocación del barro. Con esta técnica, en épocas preincaicas se construyeron muros y estructuras masivas. En la costa peruana en general y en especialmente en la ciudad de Lima se cuenta con numerosos ejemplos del empleo de esta interesante técnica constructiva. La tierra modelada cayó en el olvido luego de la conquista y fue reemplazada por la tapia europea. De ahí nace la confusión para la identificación y que actualmente se cree que las huacas limeñas fueran fabricadas en forma similar a la técnica española. Esta confusión evitó que se le reconociera y estudiara detenidamente, pasando por alto varios aspectos de interés científico. En la ciudad de Lima existen cientos de sitios arqueológicos, grandes complejos construidos con tierra modelada. Varios de estos sitios fueron arrasados producto del crecimiento de la ciudad durante el siglo XX, algunos han sido protegidos y estudiados y muchos otros permanecen en el olvido y en riesgo de perderse.

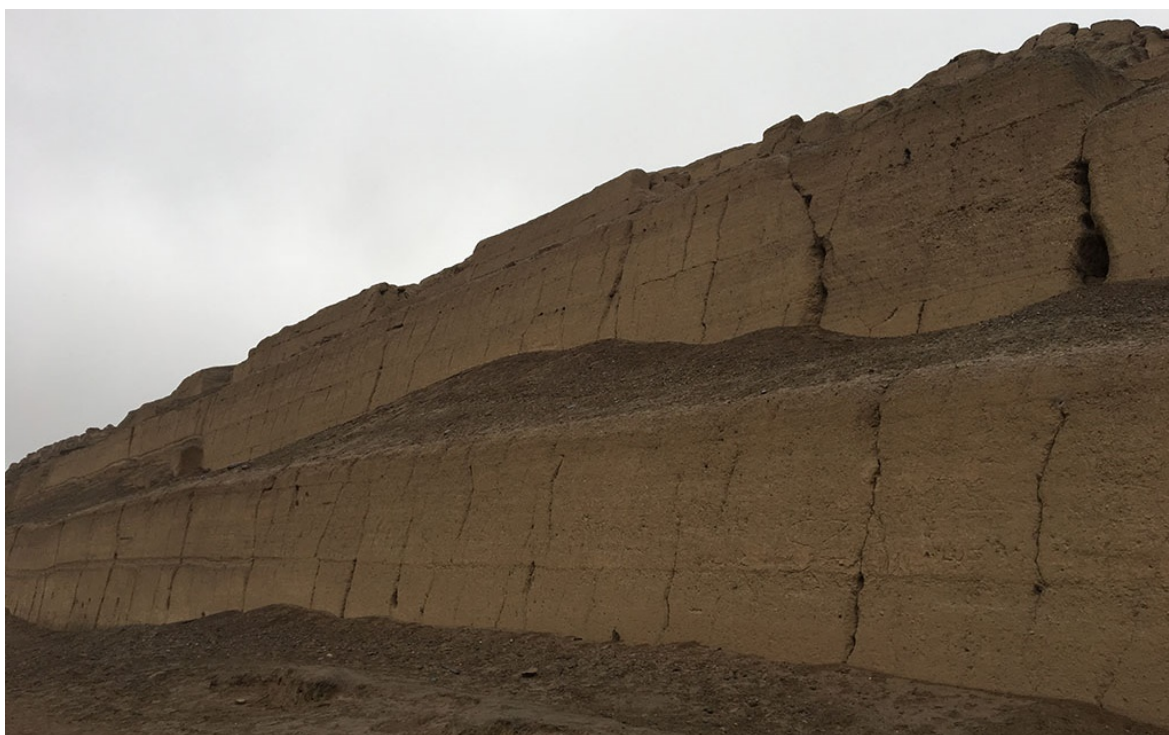


Figura 1. Huaca Tres Palos ubicado en el complejo Maranga Lima. Fuente: Henry Eduardo Torres.



Figura 2. Comparación entre un adobe y un fragmento de muro de tierra modelada, donde se aprecia la diferencia entre un barro compactado y la textura sin compactar, en la otra vista se aprecia lo recto del paramento. Fuente: Henry Eduardo Torres.

3.2. Contexto histórico y geográfico

Las tradiciones constructivas en el área andina se desarrollaron en áreas geográficas determinadas. Los restos de las edificaciones que emplearon los muros monolíticos de tierra en sus construcciones se encuentran en la costa meridional de los Andes centrales en el actual territorio peruano. Las evidencias arquitectónicas se restringen al piso altitudinal denominado en el Perú costa o chala (Pulgar Vidal, 2014), que en cauqui un idioma originario del Perú significaba lugar poco habitado y con tierra arenosa. La zona costera de América del Sur registra una intensa actividad sísmica, debido al fenómeno de subducción entre la placa de Nazca y la placa continental de Sudamérica.

En cuanto a la temporalidad en el desarrollo de esta técnica constructiva, se le ha ubicado habitualmente, empleando la clasificación del arqueólogo John Rowe (Ramón Joffré, 1994), en el período que transcurre desde el año 800 D.C. hasta el siglo XV, debiéndose señalar que esta clasificación fue realizada tomando como referencia estilos de la cerámica como indicador y no la arquitectura. En cuanto a las civilizaciones que emplearon este procedimiento de construcción podemos mencionar a la Yschma, la denominada confederación Chíncha y otros señoríos costeños menos estudiados como los Collique. Fue también empleado en épocas incaicas.



Figura 3. Ubicación de La zona de estudio.

3.3. Estado del conocimiento

Los muros de tierra modelada hallados en contextos arqueológicos peruanos han sido poco estudiados y ello ha contribuido a que comúnmente sean conocidos como “muros de tapia”. Probablemente debido a ello, no se profundizó en la comprensión de sus características constructivas o de la estabilidad estructural. Se ha generalizado erróneamente como tapia guiándose por el aspecto que se asemejaba a los muros construidos con moldes o tapiales cuya técnica se aplicó a partir de la conquista española. Luego de la llegada de los conquistadores la técnica constructiva nativa de muros de tierra modelada quedó en desuso¹. Esa interrupción

¹ Se tiene conocimiento de la continuidad de la construcción de muros de tierra modelada en el distrito de Querocoto, provincia de Chota, departamento de Cajamarca en los Andes peruanos. En este lugar a la técnica le denominan “hilada” y el procedimiento consiste en apilar porciones de barro empleando un escantillón de madera que permite mantener un ancho constante del muro y un hilo que permite mantener la alineación de este. Los recintos se van levantando en hiladas horizontales, que se deben levantar en una jornada de trabajo. Una vez completado la hilada en todo el perímetro se sigue avanzando a la siguiente. No se usan herramientas adicionales, salvo las que permiten transportar el barro, pues para ser colocado en su posición final y alisar los paramentos solo se emplean las manos.

causó que los conocimientos adquiridos a lo largo de varios siglos se perdieran, información que hubiese probablemente permitido la continuidad de esta forma de construcción tan característica de la costa peruana².

Existen varias publicaciones que se ocuparon de la arquitectura arqueológica y que son analizados en ítems subsiguientes. Como podrá apreciarse, el panorama del conocimiento acerca de los muros de tierra modelada ha tenido un acercamiento a nivel académico que es interesante revisar por los aportes que se pueden obtener como punto de partida de esta y futuras investigaciones. Adicionalmente, conocer que aún se conserva esta tradición constructiva en los Andes centrales peruanos podría ayudar a sustentar estas propuestas y trazar nuevos tópicos de investigación en el futuro.

4. METODOLOGÍA EMPLEADA

Para iniciar los trabajos fue necesario hacer una recopilación de la información de los asentamientos arqueológicos. La búsqueda se realizó a nivel bibliográfico, artículos científicos, publicaciones en revistas, libros, imágenes de archivos, etc. Fueron muy valiosos los libros de viajeros europeos del siglo XIX que, con una visión particular, describieron muy detalladamente la arquitectura prehispánica en los alrededores de la ciudad de Lima de su tiempo. También fueron particularmente inestimables las publicaciones que se hicieron a lo largo del siglo XX sobre la arquitectura peruana, cuyas descripciones, son el punto de partida de este trabajo.

Las visitas a los sitios arqueológicos fueron parte sustantiva de esta investigación que incluyó mediciones, observaciones, registro fotográfico, esquemas, dibujos, etc. Se constató la estabilidad de estas estructuras, el estado de conservación y los factores que causan el deterioro, además de los procesos de degradación de la materia tierra.

Es importante indicar que la mayor parte de estos asentamientos no se encuentran excavados empero, ello no ha significado restricciones para poder evaluarlos y cotejar los indicadores necesarios para esta investigación. Los muros se encuentran en su mayor parte expuestos y son de varios metros de altura, condición que facilita el registro.

La gran mayoría de los sitios visitados no han sido conservados. El estado actual en que se encuentran y los daños que pueden percibirse debido al paso del tiempo, permite una evaluación de la condición en que se encuentran. Partiendo de ello se han podido formular las hipótesis que

² La falta de escritura de los pueblos originarios del antiguo Perú y de un registro por parte de los conquistadores españoles facilitaron la desaparición de esta técnica.

tratarán de resolverse. La mayor parte de los sitios arqueológicos visitados pueden compararse a un gran laboratorio de estructuras donde pueden apreciarse los daños luego de varios siglos de exposición a los sismos.

Para las visitas se contó con el apoyo de diversos profesionales arqueólogos que con la mayor gentileza permitieron el ingreso a los sitios que cuentan con el resguardo del Ministerio de Cultura del Perú, tales como las huacas del complejo Maranga, La huaca Centinela o la Fortaleza de Campoy o el Santuario de Pachacamac. En otros casos se visitaron sitios que, sin tener la debida protección por parte de las autoridades, cuentan con la atención y preocupación de investigadores que esperan con mucha expectativa que pronto sean protegidos y conservados. Igualmente ha sido de mucha valía la información, discusiones y comparaciones con colegas y amigos tanto peruanos como de otros países, que permitieron ir formando un punto de vista crítico respecto de los muros de tierra modelada.

Es importante mencionar que muchos sitios arqueológicos que hubiesen formado parte del registro inicial de este trabajo han desaparecido a lo largo del siglo XIX y XX debido al proceso de urbanización de la ciudad. Se cuenta con algunos registros que se adjuntan en el presente trabajo para la formación de una visión del conjunto arquitectónico precolombino que había sido edificado con muros monolíticos.

4.1. Análisis de las publicaciones existentes

Las publicaciones revisadas contienen las descripciones vertidas en las crónicas de la conquista española, los viajeros extranjeros en el Perú, estudios de arquitectos y arqueólogos entre otros investigadores.

Un cronista español, Bernabé Cobo citado en (Vargas, et al., 2015) es uno de los primeros en describir la técnica constructiva empleada en las edificaciones de los antiguos peruanos:

No hacían antiguamente los indios estas tapias como nosotros, de tierra suelta un poco húmeda, sino de barro bien amasado y blando, como hacemos nosotros los adobes. Sacábanlas muy derechas y lisas porque arrimaban a los lados en lugar de tapias de madera, mantas y cañizos, y luego las enlucían con el mismo barro. Deste linaje de tapias son los

muchos paredones antiguos de que está lleno todo este valle de Lima, por donde sacamos su forma y su hechura.

Ernst Middendorf, un viajero alemán de fines del siglo XIX 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...” (Middendorf, 1973, p. 53). “Las ruinas consisten de los llamados adobones, osea 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, p. 54).

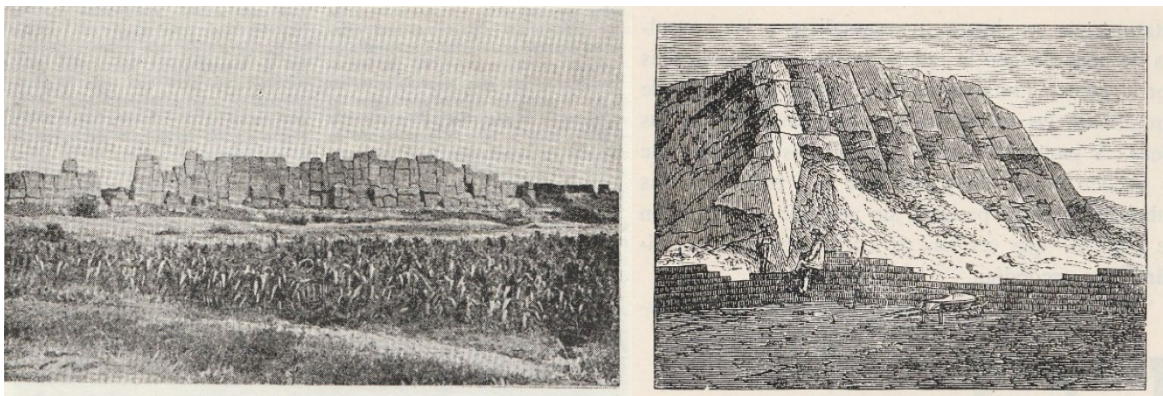


Figura 4. Izquierda: “Murallas de la ciudadela de Huadca” (Middendorf, 1973). Derecha: “Demolición de una Huaca Limatambo”. Fuente: (Squier, 1974).

George Squier menciona las construcciones antiguas en los alrededores de Lima, y llama la atención acerca del proceso de destrucción que las afectaba en aquella época: “...como hay gran demanda de ladrillos, las antiguas estructuras de adobe se están destruyendo rápidamente y el material es transformado en ladrillos para las ciudades modernas” (Squier, 1974, p. 45)

A partir del siglo XIX y a lo largo del siglo XX, en el Perú, se hicieron publicaciones que se ocuparon de investigaciones relacionadas a la arquitectura andina en general. En particular, varias de ellas se ocuparon de los restos de muros de tierra modelada y los detalles constructivos encontrados en los valles del Rímac, Chillón y Lurín, conformantes de la actual Lima Metropolitana. Estas obras arquitectónicas fueron descritas e investigadas por expertos, arqueólogos y arquitectos.

Pablo Chalón (1882) es pionero en mencionar la técnica que por aquel entonces ya era denominada “adobón”, mencionando el uso de un “cajón de cañas que sirve de molde”. Chalón adiciona un dato importante: el uso de un pisón llamado *taktana*. Además, Chalón describe

manifiestamente en su obra la técnica europea de la tapia desde las herramientas hasta los procedimientos, confundiéndola con la técnica autóctona.

Villar Córdoba (1935) menciona los “paredones de barro apisonado” refiriéndose a los muros de tierra modelada. Sin embargo, parece confundirlos con adobes de grandes dimensiones “de un metro cúbico de volumen”, resaltando que el enlucido exteriormente le confiere el aspecto de “tapia” o pared de una sola pieza.

Posteriormente el Dr. Jorge Muelle (1978) hace una descripción de la técnica que denominó *allpa-pirca* o muro de barro, que describe del modo siguiente:

...después de haberse colocado una gruesa capa de barro a lo largo del muro, se procedió a ponerle otra, para entonces ya la primera había oreado y adquirido consistencia.

Y continúa:

las líneas horizontales que se notan en las caras de estas paredes no son pues dibujadas por las capas (...) sino por los borrenes o rollizos que las retienen....

En esta contribución no menciona la modulación de los muros y, sin embargo, aclara el panorama técnico acerca del procedimiento constructivo de este tipo de obras de tierra, acercándose a la propuesta que se considera correcta en el presente documento.

Santiago Agurto (1984), por otra parte, afirma que:

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. (Agurto, 1984, p. 137)

En otra de sus contribuciones sobre unas murallas del valle del Chillón, anota:

“...al parecer las unidades se fabricaban en forma alternada construyendo primeramente aquellas cuyos extremos laterales tenían un ángulo de reposo

que permitía la estabilidad de las capas de barro, luego se construían las unidades intermedias" (Agurto, 1983)

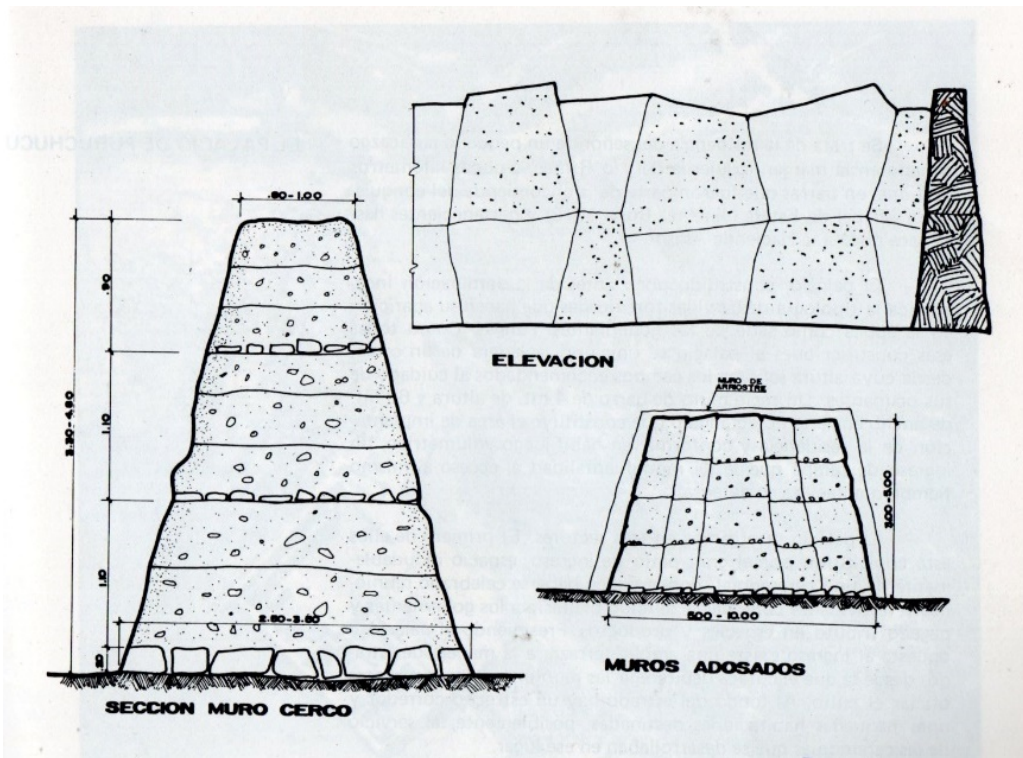


Figura 5. Detalles técnicos de la construcción de la muralla del Chillón. Fuente: Lima Prehispánica de Santiago Agurto.

Aquí subraya el proceso constructivo de alternancia tal como había mencionado el Dr. Villar Córdoba para la construcción con adobes. De esta forma se ha ido aclarando y comprendiendo como fueron construidas estas obras.

Eekhout quien en el año 1994 excavó la PCR 3 del sitio arqueológico de Pachacamac describió de forma muy concreta la técnica constructiva originaria:

Los muros fueron construidos por tramos rectilíneos a veces subdivididos en varias partes. Estas corresponden, quizás a tareas o contestan a consideraciones técnicas antisísmicas. Ambas hipótesis no son excluyentes, ni tampoco incompatibles. (Eeckhout, 1999, p. 206).

Y aporta una muy interesante reflexión:

El ancho de los muros varía entre 30 cm hasta varios metros ...el conjunto de la construcción tiene que ser suficientemente flexible para resistir a los movimientos sísmicos (...) considerando estas características ese principio

general justifica en gran parte el uso de las técnicas constructivas descritas anteriormente. (Eeckhout, 1999, p. 206).

Interesante la apreciación del arqueólogo que intuye capacidad sismo-resistente en estas obras, un aporte crucial para las conclusiones de la presente contribución. Otros autores, se refirieron a la modulación o segmentación de bloques constructivos que se emplearon en forma masiva para la conformación de los edificios. Estas afirmaciones poseen la esencia de esta hipótesis de dividir el “todo en partes” y por tanto conviene tenerlos en cuenta. Moseley (1978) llama “unidades modulares” a los segmentos constructivos empleados en la construcción de plataformas masivas para la edificación de las estructuras escalonadas del norte del Perú. No obstante, no le reconoce aspectos estructurales o de sismo-resistencia. Sin embargo, el nombre asignado es acertado al denominarlos modulares, pues se refería a bloques semejantes entre sí, agrupamientos de adobes, que unidos formaban grandes plataformas de los edificios. De igual forma descarta que la modulación responda a exigencias de los materiales.

Reindel (1997) explica que los bloques constructivos que formaban el relleno de las plataformas se hicieron con el objetivo de evitar problemas originados por las “variaciones volumétricas” de la estructura de tierra que, como se sabe, al contener arcilla puede variar dimensionalmente, dependiendo del contenido de humedad que tenga el medioambiente. Esta deducción de Reindel es muy interesante pues efectivamente le atribuye exigencias de acuerdo con la naturaleza de la tierra como material y a la presencia de la arcilla en este elemento, algo que por supuesto es totalmente posible.



Figura 6. Alrededores de una Huaca cerca a Lima a inicios del siglo XX. Fuente: Colección Max Uhle.

La célebre arquitectura de la Lima antigua fue analizada por el Dr. Pedro Villar Córdoba denominando: “pequeños adobes de barro colocados a manera de libros en su estante...”. (Villar Córdoba, 1935) Esta afirmación derivó en la técnica del *librero* y otras acepciones similares que explicaban la técnica de construcción masiva de plataformas que formaban los edificios de la denominada Cultura Lima y que empleaban adobes hechos sin molde cuyas dimensiones eran de alrededor de 20 cm en el lado más largo. Aún hoy, las consideraciones de sismo-resistencia de este tipo estructural no han sido del todo esclarecidas. No obstante, se debe señalar el considerable esfuerzo realizado recientemente por un equipo de investigación de la universidad Ricardo Palma (Agüero, et al., 2015) para explicar el comportamiento bajo sollicitaciones sísmicas. Partiendo de un prototipo que replicaba algunos aspectos de esta técnica constructiva como la colocación en hiladas y empleaba adobes de dimensiones y formas similares a los arqueológicos, este equipo obtuvo singulares resultados acerca de la ductilidad del modelo. Los resultados evidenciaron la capacidad del modelo para soportar deformaciones. Por la escala del modelo, los estudios no consideraron la segmentación de los muros como parte de las investigaciones. Por tanto, queda mucho por conocer, en virtud de los interesantes resultados obtenidos que dieron un interesante avance hacia el conocimiento de esta antigua tradición constructiva.

La contribución del Dr. Villar Córdoba continúa con la descripción de la disposición de los bloques de adobes pequeños de la forma siguiente:

“forman grupos de aspecto triangular, puestos unos a continuación de otros, y sobre los cuales se colocó una sola hilada de adobes cuadrados, un poco más grandes (...) en el espacio triangular, libre, que dejaban, se rellenó con otros adobes pequeños que se agrupaban del mismo modo que los anteriores grupos triangulares pero esta vez con el vértice hacia abajo”. (Villar Córdoba, 1935)

De esta forma, el autor, 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, Huaca Pucllana, Huaca San Marcos entre otros. Esta disposición por la antigüedad que posee es predecesora de los *bloques constructivos* de los muros de tierra modelada.

Otros trabajos recientes de investigación relacionados con la arquitectura prehispánica y cuyos resultados han sido publicados son los de Vargas & Soto (2015), que publicaron un detallado artículo en el cual definieron como Bloques de Tierra Modelada macizos o BTM a los muros monolíticos en el sitio arqueológico Mateo Salado ubicado en la ciudad de Lima. En el texto detallaban que:

“...puede inferirse que el sistema constructivo empleado por los Yschma no fue precisamente el tapial, dado que no existe evidencia del uso de encofrados rígidos: probablemente, la tierra fue sido colocada in situ y modelada a mano. Se trataría pues, de Bloques de Tierra Modelada”

Otras investigaciones recientes como las de Luis Fernando Guerrero (2018) indicaron que: “...la tierra que usaron los constructores nativos contenía un alto nivel de humedad y que al perderla se redujo el volumen de las piezas, y por eso se agrietaron.”

Finalmente añade refiriéndose a la segmentación o modulación de los muros:

“Por último, la aparente modulación que se evidencia a lo largo de los muros obedece simplemente a grietas verticales que se acusan como consecuencia de la retracción volumétrica que se produjo hace siglos durante el proceso de secado de los grandes tramos monolíticos.”

Para esta investigación se ha propuesto las siguientes hipótesis:

¿Cuáles fueron las características de los muros construidos con la técnica de tierra modelada?

¿Cuáles fueron los procedimientos constructivos empleados?

¿Se puede afirmar que la técnica descrita fue empleada con criterios de sismo-resistencia?



Figura 7. Huaca Mangamarca a inicios del siglo XX. Fuente: Colección Max Uhle

4.2. Inspecciones de campo, registros

Probablemente la mayor parte de esta investigación se ha sustentado en el trabajo de campo, lo que ha permitido conocer directamente el sistema constructivo, el contacto con los restos arqueológicos, el registro fotográfico, mediciones y notas de campo permitieron recopilar la información para la síntesis y análisis posterior.

Las huacas que formaron parte de esta investigación de campo fueron:

- Pirámide con Rampa III en Pachacamac
- Huaca Tambo Inga
- Huaca Tres Palos
- Huaca La Palma
- Huaca Mateo Salado
- Huaca Mangamarca;
- Fortaleza de Campoy;
- Murallas de Chuquitanta

- Palacio de Oquendo
- Huaca El Respiro
- Cajamarquilla

Para el registro de los detalles arquitectónicos y constructivos en los muros se emplearon cintas métricas, cámaras fotográficas, apuntes de campo, entrevistas con conservadores y arqueólogos.

Para la visita a los sitios arqueológicos se contó con guías locales en caso de los sitios que no se encuentran protegidos o que carecían de información exacta sobre su ubicación, en el caso de sitios que lo requirieron se tramitaron los permisos correspondientes para las visitas técnicas.

Huaca La Centinela

Este complejo arquitectónico ocupa un área de 75 ha con numerosas construcciones que datan de la época preincaica e inca, tiene coordenadas Norte 8°51'27.46" y Este 78°33'35.9". Se ubica a unos 200 km al sur de la ciudad de Lima. Dentro de este sitio arqueológico se pueden encontrar edificaciones erigidas tanto con adobe como con muros monolíticos. Este complejo no tiene un proyecto de conservación que lo proteja de los daños que lo vienen afectando.



Figura 8. Vista de la Huaca desde suroeste. Se observan bloques constructivos y un contrafuerte en buen estado de conservación. Las uniones de los bloques se han acentuado producto de los sismos y algunos desprendimientos son los daños más visibles en la fachada. Fuente: *Henry Eduardo Torres.*



Figura 9. Vista de un muro, los bloques constructivos tienen juntas verticales y los bloques superiores se traban con los inferiores, en general en buen estado de conservación. Las uniones de los bloques se han acentuado producto de los sismos y se observan algunas grietas. Fuente: *Henry Eduardo Torres*.



Figura 10. Muro conservado, se observan restituciones de mortero probablemente en grietas y juntas indistintamente. Fuente: *Henry Eduardo Torres*.



Figura 11. Vista de un muro con un tramo muy agrietado. Las juntas verticales no trababan adecuadamente los bloques y por tanto permitía un mayor desplazamiento entre ellos. Fuente: *Henry Eduardo Torres.*

Huaca Tambo Inga

Fue un centro administrativo Inca, está ubicado en el distrito de Puente Piedra sobre un gran afloramiento rocoso. Está formada por terrazas, recintos cuadrangulares, pasadizos y toda serie de estructuras de las cuales actualmente solo quedan los alineamientos de muros, el sitio se encuentra protegido y en constante visita por parte de vecinos y estudiantes.



Figura 12. Vista general del sitio arqueológico Tambo Inga. Fuente: Henry Eduardo Torres.



Figura 13. Muros construidos en terreno en pendiente formando por bloques independientes que sea adosan en planos inclinados. Fuente: Henry Eduardo Torres.



Figura 14. Detalle constructivo de los muros construidos en superficies inclinadas, se aprecian los momentos constructivos y las juntas que van de la base a la cabecera del muro. Fuente: *Henry Eduardo Torres.*

Huaca Mangomarka

Esta edificación ha sido muy afectada por el abandono sufrido a lo largo de mucho tiempo. Actualmente se encuentra protegida y ha tenido trabajos de conservación en zonas puntuales del edificio. Su construcción es preincaica.



Figura 15. Vista del edificio principal del complejo arqueológico. Fuente: *Henry Eduardo Torres.*



Figura 16. Izquierda: Detalle constructivo de los muros construidos en forma escalonada y apoyados entre sí, probablemente se han construido sobre un afloramiento rocoso. Derecha: Detalle de un bloque ordenador³ ubicado en la parte superior de la construcción. Fuente: Henry Eduardo Torres.

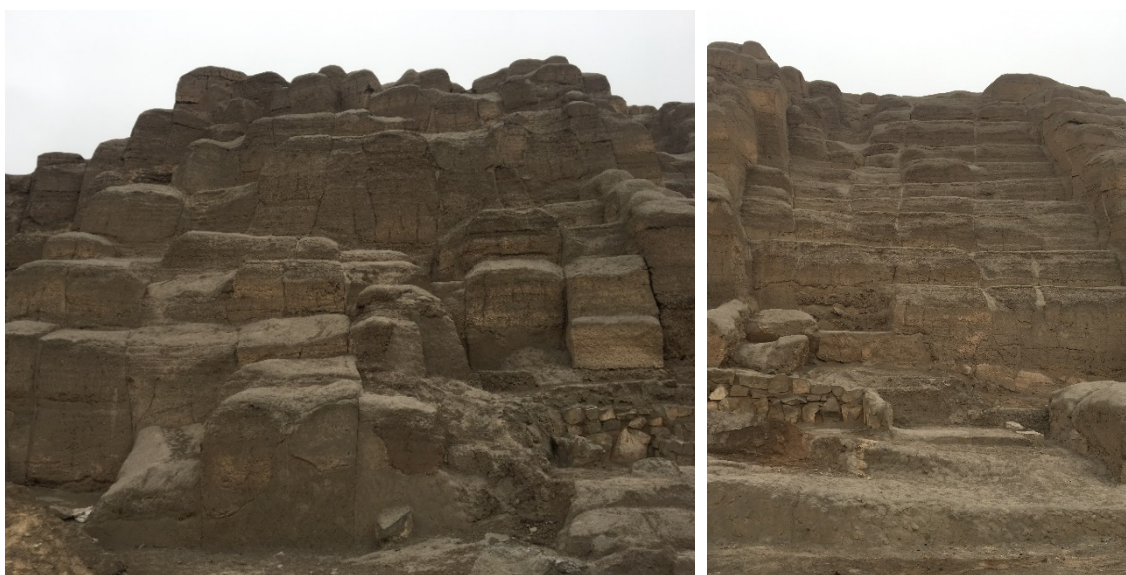


Figura 17. Vista de la fachada, se pueden apreciar bloques ordenadores y adosamientos que guardan una estricta alineación desde la base a la parte alta del edificio, probablemente se han construido sobre un afloramiento rocoso. Derecha: Detalle de las intervenciones de conservación con las juntas de los bloques rellenas de mortero. Fuente: Henry Eduardo Torres.

³ **Bloque ordenador**, se define de esta forma a los bloques construidos generalmente de forma trapezoidal, distanciados entre sí, y que conformaban la primera hilada del muro. A partir de este se fueron adicionando otros bloques los cuales se les adosaron formando las grandes masas de la estructura final. Se le ha denominado así pues al tener lados inclinados "ordenan" a los demás bloques que se van agregando.

Huaca Fortaleza De Campoy

Es un sitio arqueológico preinca, ocupado y remodelado en épocas inca, está fuertemente afectado por el avance de las edificaciones modernas que prácticamente han construido al costado de estas construcciones patrimoniales, el sitio se encuentra actualmente protegido.



Figura 18. Vista del complejo arqueológico. Fuente: Henry Eduardo Torres.



Figura 19. Muro formado por varios bloques unidos por una compleja mampostería de varios eventos constructivos. Fuente: Henry Eduardo Torres.



Figura 20. Vista de un muro muy afectado, esta vista permite analizar el fenómeno de colapso de este tipo de muros. Fuente: Henry Eduardo Torres.



Figura 21. Muros de grandes dimensiones formados por adosamientos sucesivos de bloques, los muros tienen más de 6 m de altura, se aprecian claramente las capas de barro de la técnica constructiva. Fuente: Henry Eduardo Torres.

Huaca Cerro Respiro

Ocupa un área de casi 4 Hectáreas, recientemente cuenta con el saneamiento físico legal que lo protege como patrimonio cultural de la Nación. No tiene protección permanente por lo que es habitualmente vandalizada.



Figura 22. Vista del complejo arqueológico. Fuente: Henry Eduardo Torres.



Figura 23. Muros formados por una sucesión de bloques ordenadores y bloques de ajuste o claves⁴, los muros tienen al menos 3 m de alto. Fuente: Henry Eduardo Torres.

⁴ **Bloque de ajuste**, se ha definido de esta forma a los bloques de tierra modelada con forma trapezoidal con la base menor hacia abajo que sirven para dar ajuste a los demás bloques contiguos comportándose como una cuña o clave.



Figura 24. Muros formados por una sucesión de bloques ordenadores y bloques de ajuste o claves. Se observa la compleja mampostería en contraste con otras técnicas encontradas en otros sitios arqueológicos. Fuente: Henry Eduardo Torres.

Muralla De Chuquitanta

Esta construcción data de la época preincaica, actualmente sin protección adecuada que evite su sistemática destrucción. Debido a ello la longitud original se ha visto muy afectada.

Tiene una altura de casi 4 metros.



Figura 25. Vista general de un tramo de la muralla. Fuente: Henry Eduardo Torres.



Figura 26. Vista en elevación de la muralla donde pueden observarse los bloques ordenadores y los muros de relleno entre ellos. Fuente: Henry Eduardo Torres



Figura 27. Vista de parte de la sección del muro que quedó expuesta debido al colapso parcial del segmento adyacente. Derecha: Vista en detalle de la adición de bloques a partir de un bloque ordenador. Fuente: Henry Eduardo Torres

Huaca Palacio Inca de Oquendo

Sitio de construcción preinca e Inca, ocupa un área de 4 hectáreas. Cuenta con vigilancia permanente por lo que el sitio se encuentra bien protegido de actos vandálicos.



Figura 28. Vista general del sitio arqueológico. Fuente: Henry Eduardo Torres.



Figura 29. Detalle de armado de los muros con bloques que se adosan con juntas inclinadas. Fuente: Henry Eduardo Torres.



Figura 30. Detalle de un espacio amurallado empleando muros de tierra modelada, se aprecian los segmentos de muros independientes y una fuerte inclinación. A la derecha detalle de las juntas entre bloques. Fuente: Henry Eduardo Torres.

4.3. Análisis físicos.

Para los análisis físicos que se realizaron a las mezclas de barro para poder replicar en cierta medida las condiciones de humedad y granulometría del mortero arqueológico, se empleó el Test Carazas.

4.4. Modelos para estudiar el comportamiento estructural

En el presente trabajo se han realizado dibujos esquemáticos para tratar de explicar el sistema constructivo y entender el comportamiento estructural de los muros.

4.5. Evaluación de las alteraciones

Para la evaluación y caracterización de alteraciones se tomaron en cuenta algunas publicaciones relacionadas con el estudio de las patologías en construcciones con tierra. De las cuales se extrajeron criterios y términos. Se han revisado contribuciones de los especialistas Mariana Correia (Correia, et al., 2015), Luis Fernando Guerrero Baca (Guerrero, 2018), las investigaciones de los tutores Camilla Mileto y Fernando Vegas (Gomez-Patrocínio, et al., s.f.) relacionados a los procesos patológicos de muros de adobe ha sido de referencia importante.

5. RESULTADOS OBTENIDOS.

5.1. Caracterización de los muros de tierra modelada en contextos arqueológicos

Recientes investigaciones sugieren que las estructuras de tierra solo son sismo-resistentes si estas son reforzadas con materiales compatibles y que sean capaces de resistir esfuerzos de tracción, puesto que las estructuras de tierra carecen de esa capacidad. Los estudios realizados en edificaciones arqueológicas muestran que estructuras de tierra construidas en épocas preincaicas han soportado con diverso grado de éxito numerosos eventos sísmicos a lo largo de varios siglos, probando con ello la eficacia de sus sistemas constructivos. Esta permanencia, la monumentalidad, la complejidad de la mampostería y la falta de mayores estudios sobre el tema motivaron al autor a proponer hipótesis acerca de los procedimientos técnicos que le confirieron una singular capacidad sismo-resistente a estas estructuras.

La *tierra modelada* fue una de las técnicas constructivas más empleada en la costa del antiguo Perú. Consistió en la construcción de muros mediante la colocación de porciones de barro formando hiladas horizontales o semi-horizontales, todo ello sin la ayuda de moldes y pisones diferenciándose con ello, de la tapia europea. Esta práctica ha recibido varias denominaciones no solo en Perú sino en todo el mundo, en el área andina se le denominó adobón, *allpa pirca*, tapial, paredón, etc. A la fecha no se ha determinado sustantivamente la forma de cómo se construían este tipo de estructuras. La obtención de evidencias y estudio de estas obras permite formular una hipótesis acerca del procedimiento constructivo y los detalles técnicos que lo hicieron posible.

5.1.1. Aspectos Constructivos.

Después de haber revisado la bibliografía de las publicaciones con estudios realizados al respecto y de haber realizado un reconocimiento en los sitios arqueológicos que han sido analizados, se puede proponer que la técnica de tierra modelada fue contemporánea al uso de adobes fabricados con moldes. Es interesante conocer que ambos procesos constructivos coexistieron paralelamente resolviendo de forma distinta la construcción de los muros de tierra. En ambos procesos, la mampostería de adobes y la tierra modelada, los constructores emplearon la modulación de los muros como estrategia de sismo-resistencia en sus edificaciones. Tómese como referencia el estudio de las tradiciones constructivas en el área andina, realizado con el

objetivo de organizar los más conocidos sistemas constructivos empleados en la zona andina, entre los cuales, los muros monolíticos de tierra.

Sistema constructivo	Técnica empleada
Muros	Mampostería con adobe moldeado
	Mampostería con adobes sin molde
	Muros monolíticos de tierra
	Piedra asentada con barro
	Megalitos
	Piedras engastadas
	Con anclajes metálicos
	Entramado de caña y barro (quincha)
Pilares	Piedra y mortero
	Monolíticos de piedra
	Adobe
	Con alma de madera y caña
Coberturas	Madera y caña
	Falsas bóvedas de piedra
Rellenos constructivos	Estructurado con mortero
	Empleando bolsas de fibras vegetal
	Masivos de adobe
	Estructurado con madera
	Celdas de relleno
Acabados y terminaciones	Pintado simple
	Frisos decorados
	Enlucidos de tierra
	Muralismo con alto y bajo relieve

Tabla 1. Cuadro con algunas técnicas constructivas encontradas en contextos arqueológicos del Perú antiguo. Fuente: Henry Eduardo Torres.

El cuadro, elaborado por el autor, muestra algunas de las muchas tradiciones constructivas que se desarrollaron en el área andina, actual territorio peruano. No son todas pues el universo constructivo es mucho mayor en el ámbito de la arquitectura prehispánica. Se puede establecer que los muros de tierra modelada son apenas un ítem de esta primigenia selección y que queda un amplio campo de estudio por explorar y desarrollar para conocer la historia de la construcción del antiguo Perú.

Inicialmente los adobes eran fabricados sin moldes, añadiendo al barro fibras vegetales o arena con el fin de evitar la retracción durante el secado. Debido a la manufactura manual, se obtenían formas y tamaños muy variados. El resultado eran adobes sin caras planas, cuyas formas se asemejaban a cilindros, elipsoides, paraboloides, troncos de cono, casquetes esféricos, etc. Cuando se fabricaban muros, se colocaban en forma horizontal, probablemente con poca estabilidad debido a lo heterogéneo de los mampuestos y la diversidad de tamaños que dificultaba el amarre de los bloques (Ver Figura 30). Aquellas dificultades serían superadas prontamente.

Posteriormente, los adobes fueron teniendo una forma prismática, de caras cada vez más planas y de tamaño similar entre ellos, aunque siempre fabricados sin molde. Una vez secados al sol eran colocados en hiladas horizontales para formar los muros, plataformas y otras estructuras. La forma y el tamaño regular de los mampuestos permitió un mejor orden de la mampostería y en consecuencia muros más estables (Ver Figura 31).

En esta etapa se empezó con el uso de las modulaciones o bloques constructivos que consistía en la construcción por partes que se iban agregando para lograr el volumen arquitectónico final. Estos bloques de mampuestos de formas variadas iban colocándose uno al lado del otro de tal forma que lograban trabarse entre ellos como si se tratase de una *mega mampostería*. Dentro de la construcción de bloques constructivos, los más estudiados son los que tienen forma triangular-trapezoidal, como los descritos por Villar Córdoba (Villar Córdoba, 1935). Estas formas no eran visibles desde el exterior del edificio, debido al revoque que cubría todos los paramentos, actualmente pueden apreciarse a consecuencia del deterioro que tienen y que expone el núcleo de las plataformas mostrando el interior de la estructura.



Figura 31. Izquierda: Adobes del periodo precerámico 2500 años A.C. Derecha: Muro con adobes de ese tipo siendo conservado. Fuente: Henry Eduardo Torres.



Figura 32.: Adobes fabricados sin molde del periodo Lima 200 D.C. y la mampostería que conforma.



Figura 33: Adobe fabricado con molde y la mampostería que conforma en hiladas horizontales. Santuario arqueológico de Pachacamac. Fuente: Henry Eduardo Torres

El posterior uso de moldes para la fabricación de adobes tuvo como consecuencia que el tamaño de los mampuestos se incrementara y se hicieran unidades en serie. Se emplearon varios tipos de aparejo y combinaciones de la mampostería, adquiriendo con ello solidez (Ver Figura 32).

La construcción monolítica de los muros de tierra se desarrolló colocando porciones de barro en estado húmedo-plástico en capas horizontales formando la hilada, esta colocación de masas de barro húmedo se hacía de forma similar en que se procedía con los adobes sin molde. Esta investigación plantea que en un primer momento los adobes se van uniendo sin mortero de junta (ver Figura 33a). Posteriormente el barro es colocado en capas de altura similar a los pequeños adobes para finalmente lograr muros (ver Figura 33b). El empleo de esta técnica constructiva podría originarse en la optimización del tiempo de trabajo. En los muros monolíticos los tiempos de construcción se acortan al prescindirse del proceso de secado de los adobes.



Figura 34. Izquierda (a), restos de un muro elaborado con adobes modelados a mano y asentados en hiladas horizontales sin junta vertical. Derecha (b): Restos de muros elaborados con porciones de barro asentados en forma similar a los adobes. Sitio arqueológico del Complejo Maranga. Fuente: Henry Eduardo Torres.

El estado húmedo de la masa es una condición importante pues ayudaba a una aceleración en el proceso de secado del conjunto y a facilitar el trabajo del acabado final de los paramentos. La cantidad de agua en la mezcla y la falta de una compactación del barro colocado hacen suponer que se prescindió de moldes para la construcción de estos muros. No obstante, no puede descartarse el empleo de algún tipo de soporte para guiar lateralmente la obra y lograr muros de caras planas. Lamentablemente no existen registros de empleo de estas herramientas,

sino apenas unas improntas de textiles que pueden brindar algún indicio que debe seguir investigándose.

Actualmente en contextos arqueológicos es posible apreciar claramente las bandas horizontales de barro que se superponen. Además, existen evidencias muy claras de que la superficie era trabajada para obtener un acabado alisado. Se cuentan con pocas evidencias, pero se puede indicar que los muros que formaban recintos eran posteriormente enlucidos cubriendo las uniones de las capas de barro, logrando el aspecto de un muro monolítico. En otros casos, los muros que formaban parte de la estructura interna del edificio se mantenían sin enlucido y gracias a ello se pueden apreciar las capas de barro que muestra la técnica constructiva con mayor claridad. El *apilado* del barro en hiladas fue decisivo para elevar la resistencia a la compresión del muro. Las capas de barro se colocaban como si fueran capas de sedimentos compactándose debido al peso de las capas superiores. Este procedimiento no evitó completamente que el muro se agrietara por la contracción durante el proceso de secado. Las grietas debido a ello en algunos muros son notorias.



Figura 35. Capas de barro formando la estructura del muro que se pueden apreciar debido a un colapso, imágenes del sitio arqueológico Fortaleza de Campoy. Fuente: Henry Eduardo Torres.

Se ha podido apreciar una probable evolución en el conocimiento y manejo de la tierra como material de construcción, desde los primeros adobes hasta la construcción de bloques monolíticos. Es notable además la forma de aparejar los mampuestos. En el caso de los muros

de tierra modelada, se ha registrado el uso de una forma de mega mampostería, es decir el arreglo de los bloques monolíticos siguiendo un orden racional para un mejor comportamiento frente a sismos que, probablemente, también facilitó la construcción. A continuación, se desarrollan algunos conceptos que a juicio del autor son relevantes para la comprensión del proceso constructivo descrito.

5.1.1.1. La textura del barro

Uno de los primeros conceptos a entender es la textura del barro empleado en este tipo de construcciones. Para ello, se ha tomado como referencia la herramienta pedagógica denominada Test Carazas desarrollada en Craterre por el arquitecto Wilfredo Carazas. En este ejercicio se identifican varios estados de la materia tierra en relación con la cantidad de agua que posea la mezcla y el nivel de compactación que se ejerza sobre ella. En este caso para validar estas observaciones se ha recurrido al manual publicado el año 2017 (Carazas, 2017). Esta operación ha permitido fundamentar que, de acuerdo con las observaciones realizadas en los sitios visitados, la textura del barro empleado en los muros de tierra modelada corresponde a un barro en estado plástico con una ligera presión manual. Por ello luego de evaluar varios muros en diferentes yacimientos arqueológicos, se estima que no se emplearon para la obra ni pisones ni otro elemento de compactación. Derrumbes de algunos sectores han permitido observar el interior de los muros y, comparándolos con las referencias elaboradas con el test, se plantea la propuesta que los muros fueron construidos vertiendo el barro en estado plástico, colocándosele en capas horizontales de espesor variable con unas medidas que van de los 10 hasta los 20 cm de altura.



Figura 36: Izquierda, textura interior de un muro de tierra modelada sin el acabado final. Fuente: Henry Eduardo Torres. Derecha: Imagen guía del test Carazas para muestras de tierra en estado plástico solamente vertidas en el molde sin compactación alguna.

En ese mismo sentido, se ha podido apreciar que las capas de barro no tienen espesores iguales, y que se trata de mantener la horizontalidad, las capas muestran una concavidad tanto hacia el centro en el plano del muro como en el centro del eje del mismo. Esta concavidad es muestra del peso que ejerció la "hilada" superior sobre la inferior cuando la masa se encontraba fresca. Considérese que, si se colocase un peso excesivo sobre la hilada inferior, se correría el riesgo de agrietamientos por exceso de peso, o aplastamiento por la misma razón. Se propone que dos o tres hiladas de 20 cm de espesor máximo por jornada pudo haber sido un avance diario para no exceder los esfuerzos de compresión sobre las capas inferiores en proceso de secado.

Finalmente es importante señalar que, una vez terminada la colocación de las hiladas de barro del muro se procedía al tratamiento de las superficies. Se estima que este trabajo tomaba un tiempo considerable, encontrándose en los paramentos las huellas dactilares de los ejecutantes. El trabajo se realizaba probablemente con la aplicación de una capa de mortero muy fluido que permitía el llenado de vacíos que se formaban en los lados del muro, esta operación permitía el alisamiento del paramento sin perder las marcas de las hiladas horizontales que aún son apreciables. Este trabajo en los paramentos se hacía en todas las caras del bloque incluyendo la que va a recibir al bloque contiguo, el cual todavía mantiene las huellas de trabajo.



Figura 37. Aspecto del acabado del paramento de un muro de tierra modelada sin el acabado final. Fuente: Henry Eduardo Torres. Derecha: Detalle del paramento donde se aprecian las huellas dactilares de los constructores. Fuente: Henry Eduardo Torres.



Figura 38. Muro de tierra modelada que muestra claramente las capas de barro con que fue conformada, se aprecia además la forma cóncava que toman producto de la colocación sucesiva de estas. Izquierda: Interior de una junta entre bloques donde se aprecia las marcas de alisado de la superficie. Fuente: Henry Eduardo Torres. Sitios arqueológicos: Palacio de Oquendo y Tambo Inga.

5.1.1.2. La base de cimentación

Una condición muy importante ha sido la cimentación de los muros. Lamentablemente por el estado en que se encuentran los sitios arqueológicos, en todos los casos no se puede acceder a las bases de estas estructuras. Se ha podido registrar en algunos cómo se cimenta sobre la roca adaptándose a la topografía del lugar y considerando sus irregularidades. La rigidez de la base sin duda ofrecía un sustento adecuado para estas estructuras ubicadas en zonas sísmicas. En otros casos, cuando se construía sobre estructuras subyacentes o plataformas se colocaba un mortero que nivelaba la base de apoyo y que permitía la colocación de la primera tongada de barro.



Figura 39. Detalle del suelo de cimentación de un tramo de muro, se construyó directamente sobre el afloramiento rocoso. Fuente: Henry Eduardo Torres.

5.1.1.3. La disciplina constructiva

A pesar de parecer un concepto abstracto, lo que se desea manifestar es la regularidad y similitud con que se construye en los sitios visitados y otros de los que se tienen referencias bibliográficas o históricas. En todos los sitios se guardan algunas relaciones físicas comunes que se repasan a continuación.

Bloques ordenadores, se define de esta forma a los bloques construidos generalmente de forma trapezoidal, distanciados entre sí, y que conformaban la primera hilada del muro. A partir de este se fueron adicionando otros bloques los cuales se les adosaron formando las grandes masas de la estructura final. Se le ha denominado así pues al tener lados inclinados “ordenan” a los demás bloques que se van agregando, este **bloque ordenador** es recurrente en las construcciones registradas, incluyendo las construidas con adobes. Puede tener dimensiones diferentes y se construye estrictamente con los lados inclinados con unos ángulos de inclinación variable, manteniendo con los bloques adyacentes una junta que se inicia en la base y se mantiene en el extremo superior, garantizando un apoyo continuo. Este bloque a su vez puede estar formado por varias fases constructivas que finalmente conforman la sección trapezoidal de este importante elemento.



Figura 40. Detalle de muros con bloques ordenadores, es notable la similitud de las formas. Fuente: Henry Eduardo Torres.

Bloques confinados, estos bloques son aquellos que se construyen adosados al bloque ordenador tienen forma de trapecios invertidos, paralelogramos y otras formas irregulares y generalmente son confinados y comprimidos por los bloques de ajuste.

Bloques de ajuste, se ha definido de esta forma a los bloques de tierra modelada con forma trapezoidal con la base menor hacia abajo que sirven para dar ajuste a los demás bloques contiguos comportándose como una cuña o clave. Estos fueron colocados en ciertos puntos

previstos con un claro propósito de ajuste de la estructura muraria, según los análisis estratigráficos realizados a varios muros arqueológicos fueron construidos como última fase del muro de tal forma que su construcción era importante para la estabilidad del conjunto.

5.1.1.4. Tipos de ordenamiento de los muros

A continuación, se propone una clasificación de muros en función a su emplazamiento y disposición de la mampostería.

Tipo 1: Se ha registrado en todos los sitios que generalmente, cuando se construía en un terreno con una pendiente significativa, la solución adoptada era la de construir muros cuyas partes se encontraban adosadas entre sí en planos inclinados paralelos, habitualmente en varias fases constructivas. Estos bloques se construyeron inclinados unos a otros, descargando un poco del 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 cual les garantizaba estabilidad.



Figura 41. Muros tipo 1. Fuente: Henry Eduardo Torres.

Tipo 2: En terrenos planos las estructuras eran conformadas por una sucesión de bloques cuya base inicial eran los denominados bloques ordenadores, que se construían espaciadamente para luego construir otros bloques que son confinados entre ellos, formando las masas de barro que se adosaban unas a otras, a veces en varias hiladas o capas. Fue usado tanto en muros perimetrales como en estructuras masivas. Los bloques confinantes u ordenadores son

trapezoides que descansan sobre su base mayor y los bloques confinados tienen forma de trapezoides invertidos, paralelogramos y otras formas irregulares.



Figura 42. Muro Tipo 2: Huaca Tres Palos. Lima. Perú. Fuente: Henry Eduardo Torres.

- Tipo 3: En terrenos planos se construían muros formados por bloques de diversas formas y en varias capas que se adosan unos a otras, con formas de trapezoides y cuadriláteros irregulares como si se tratase de una *mega-mampostería* cuyos mampuestos serían estos grandes bloques, usados también en estructuras masivas (Agurto, 1983). En este caso las formas son irregulares, se aprecian las diversas fases constructivas y sin embargo se mantiene el criterio de emplear los bloques ordenadores para la conformación de la masa final del muro.



Figura 43. Muro Tipo 3: Huaca Cerro Respiro. Lima. Perú. Fuente: Henry Eduardo Torres.

Tipo 4: Se han registrado muros construidos modularmente, pero cuyas juntas de construcción tienden a la verticalidad. Estas juntas al no transmitir los esfuerzos de compresión entre bloques permitieron que, en caso de sismo, los bloques se desplacen independientemente entre ellos. Las juntas se encuentran por tanto desgastadas y erosionadas por el viento, estos fenómenos son especialmente claros en muros de grandes dimensiones. Aunque no es parte de esta investigación se propone que el empleo de juntas verticales no guardaría necesariamente relación temporal con los bloques ordenadores de los muros 2 y 3 puesto que, el criterio es distinto.



Figura 44. Muro Tipo 4. Fuente: Henry Eduardo Torres.

Dentro de esta clasificación se puede mencionar a los muros formados por bloques de lados con muy poca inclinación y que no mantienen la junta entre bloques desde la base hasta la cabecera del muro. Los bloques se traban como si fuera un aparejo interrumpiendo la continuidad de la junta a diferencia de los casos anteriores. Se emplean bloques grandes que se aprecian muy agrietados debido al proceso de secado del barro y probablemente debido a la falta de más segmentación de los muros. Se aprecian desplazamientos de partes del muro que causan fracturas muy severas que preceden el colapso.

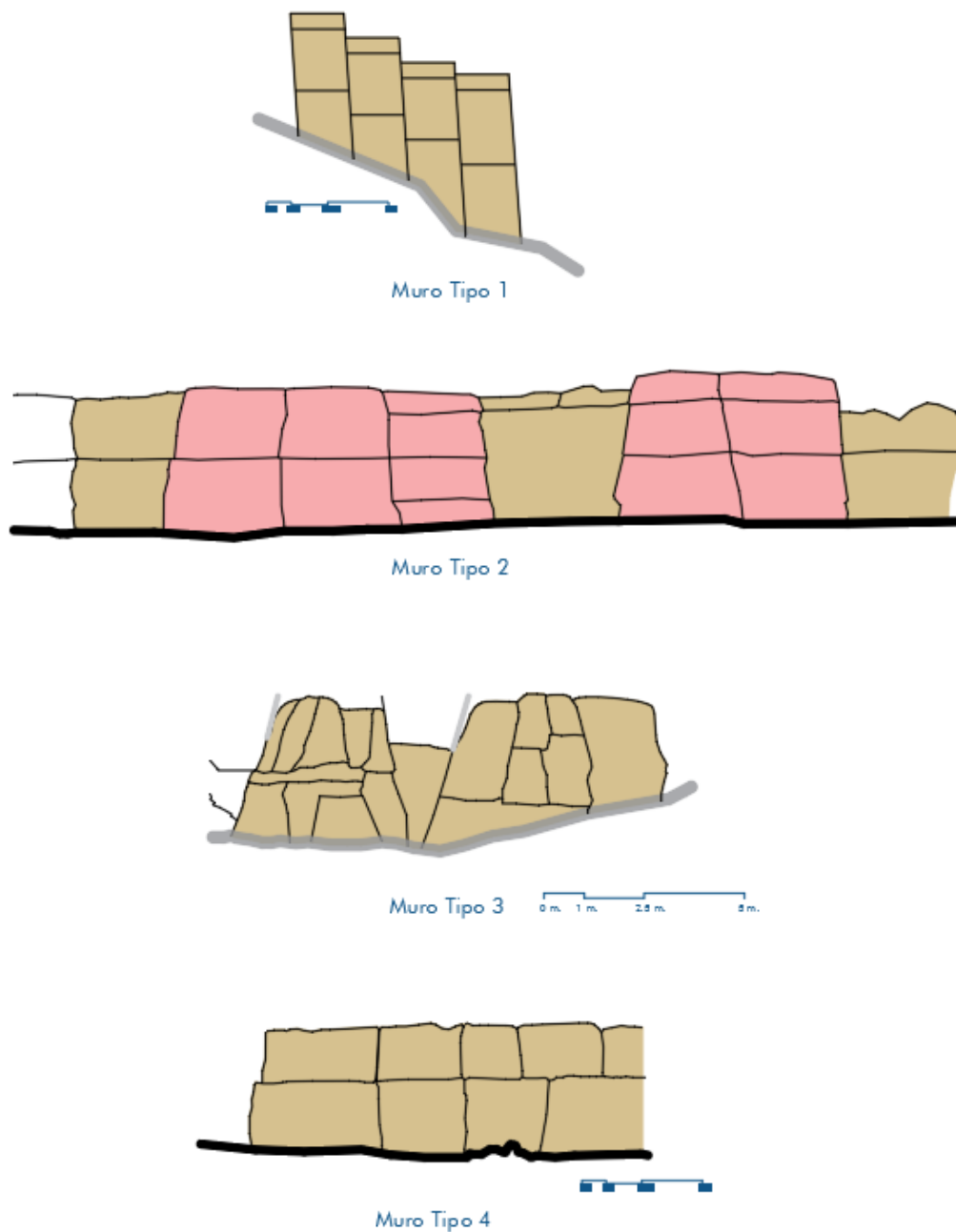


Figura 45. Esquema de los 4 tipos de muros propuestos. Fuente: Henry Eduardo Torres.

5.1.1.5. La mampostería

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. Como ejemplo se ha realizado el análisis de las diversas fases constructivas de un muro encontrado en el sitio arqueológico Cerro Respiro, que presenta unos 15 m lineales y tuvo al menos unos 3.5 m de altura. Está formado por varios adosamientos de masas de barro que, a pesar de un aparente desorden, van conformando disciplinadamente tanto los bloques ordenadores como los rellenos entre ellos de tal manera que el producto final fue una masa de bloques comprimidos entre sí. Como se aprecia en la figura, en el tramo, se identifican 6 fases constructivas, que se detallan a continuación:

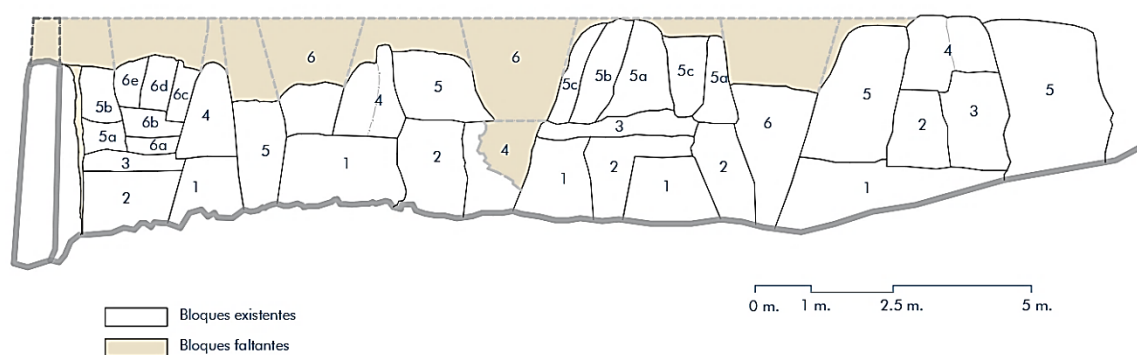


Figura 46. Muro con las 6 fases constructivas identificadas. Huaca Cerro Respiro. Lima. Perú. Fuente: Henry Eduardo Torres.

Fase 1: Formación de la base de todo el muro, los bloques ordenadores se construyen sobre el afloramiento rocoso que le sirve de sustento. Está formado por cinco bloques de forma trapezoidal que se construyen de forma planificada para recibir en los espacios dejados por estos los bloques de las fases siguientes. Los bloques de la fase 1 tienen caras inclinadas y altura variable.

Fase 2 y 3: Con estos bloques se va completando los espacios dejados por los bloques de la fase 1, se apoyan a estos y en un caso se construye como un bloque ordenador de las fases siguientes.

Fase 4 y 5: Estas dos fases terminan de completar la altura final de los bloques ordenadores con las características antes descritas, formas trapezoidales y lados inclinados para apoyar la fase final de la construcción.

Fase 6: La última fase de la construcción se termina con la colocación, que pudo haber sido construido en forma simultánea, de los bloques finales tipo cuña o clave entre los bloques ordenadores formados en las fases previas. Tienen la forma característica de trapecio invertido actuando como una cuña entre los bloques adyacentes.

Este análisis permite proponer que los bloques ordenadores pueden haber sido construidos por varios operadores en forma simultánea.

Es importante observar las diferentes dimensiones de los bloques ordenadores y la forma distinta de armarlos con hasta 5 fases constructivas, manteniendo la forma trapezoidal final y los lados inclinados.

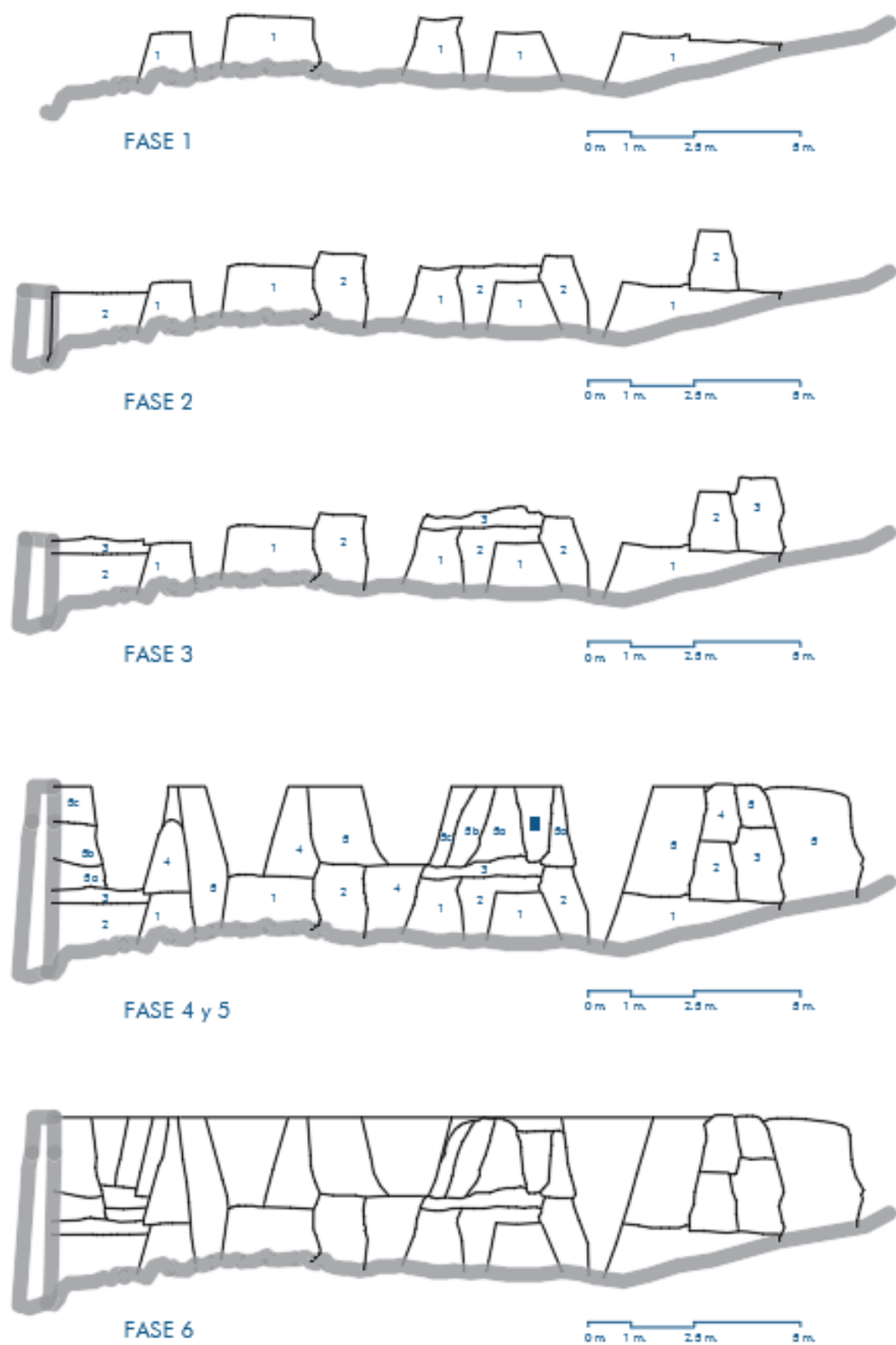


Figura 47. Gráfico esquemático del proceso de armado del muro que muestra la técnica de la mampostería. Huaca Cerro Respiro. Lima. Perú. Fuente: Henry Eduardo Torres.

El ancho del muro es en promedio de unos 70 cm, el muro tiene unos 3.5 m de altura lo cual lo convierte en un muro de una esbeltez considerable para estar construido en tierra, haber perdurado varios siglos y a varios eventos sísmicos.

Es muy interesante apreciar que la fase 6, es el evento constructivo final del muro, es decir se prepararon en forma planificada los bloques ordenadores (en las fases 1, 2, 3, 4 y 5) para finalmente construir los bloques "cuña" que le iban a dar estabilidad al conjunto.

5.1.1.6. Los enlucidos

Los muros de los sitios visitados presentan, a simple vista pocos rastros del enlucido original que cubría sus paramentos. No obstante, en algunas zonas protegidas de la intemperie todavía pueden encontrarse algunos rastros. En la foto que acompaña este subtítulo se aprecian restos del enlucido que cubría la parte interior de un nicho u hornacina, característica de la arquitectura andina, de acuerdo con lo que podemos apreciar, el enlucido cubría las juntas entre paños o segmentos de muros, que le dio en su momento la apariencia de un muro construido monolíticamente.



Figura 48. Izquierda: Restos del enlucido color claro dentro de la esquina interior de un nicho. Derecha: Nicho cortado en el muro. Fuente: Henry Eduardo Torres.

5.1.1.7. Apertura de nichos y vanos

En los muros de tierra modelada, las aberturas de vanos y la formación de nichos prescindieron de dinteles. Para formarlos se cortaba el muro, una vez terminado y que hubiera adquirido algún nivel de solidez que permitiera efectuar esta tarea sin correr el riesgo de agrietar la estructura.

En el caso de los nichos, tal como se puede apreciar en la figura 47, el calado se desarrolló cortando dos bloques que estaban superpuestos, es decir el trazo de los nichos y otros elementos similares se habría realizado considerando el bloque monolíticamente, no aprovechando planos o superficies formadas durante el proceso constructivo.

En el caso de los vanos de puertas, tenían formas diversas, y una altura reducida, 1.20 metros en el caso del vano de la figura 48b que se muestra a continuación. Los vanos se calaban igual que los nichos, posteriormente a la construcción del muro y algunos tenían forma de arco en la zona del dintel.

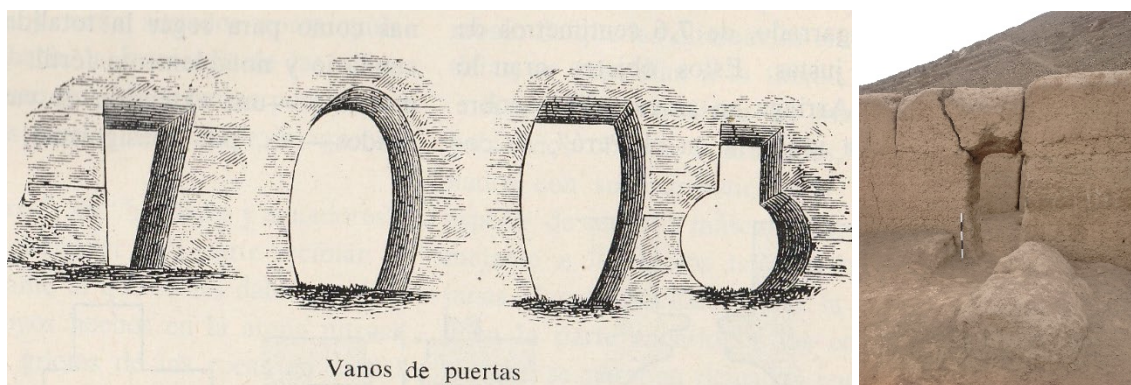


Figura 49. Izquierda: Vanos de puertas según Squier (1974). Derecha: Vano de acceso en Huaca Palacio Oquendo. Fuente: Henry Eduardo Torres

5.1.1.8. Los encuentros en esquina de muros

La discontinuidad de los muros en los encuentros en esquina fue un detalle adicional que contribuyó a la estabilidad de los recintos construidos con esta técnica. Se aprecian adosamientos que aislaron los muros que formaban las esquinas y permitieron un desplazamiento independiente evitando con ello los habituales daños por concentraciones de esfuerzos que se forman en estas zonas en las construcciones con tierra. Estas discontinuidades, pueden haber sido determinantes en contribuir a la estabilidad de los conjuntos arquitectónicos y se han registrado en casi todos los sitios visitados.

Esta característica ya había sido observada por Agurto: “Los muros no se trababan en las esquinas, posiblemente para evitar el efecto de corte que producen los sismos” (Agurto, 1984, p. 118).

De igual forma, este criterio de individualizar los muros también fue descrito por Eeckhout refiriéndose a las construcciones con adobe en el sitio arqueológico de Pachacamac:

Cada tramo de muro está concebido individualmente y los encuentros entre ellos no son sólidos. En otros términos, si se toma el ejemplo de un recinto cuadrangular, éste se compondrá de cuatro tramos de muros rectilíneos que se tocan en sus extremidades sin que sus adobes respectivos estén ligados. (Eeckhout, 1999, p. 206)

Como podrá comprobarse, el criterio constructivo tuvo otro elemento en común, evitar la continuidad cuando hay un cambio de dirección de los muros que forman recintos cuadrangulares, para evitar los daños que se ocasionan en caso de sismo en estas zonas sensibles de las construcciones con tierra.



Figura 50. Encuentro en esquina con los muros adosados. Fuente: Henry Eduardo Torres

5.1.1.9. LOS ALBAÑILES Y SUS HERRAMIENTAS

Un elemento importante en el desarrollo de la tecnología constructiva andina sin duda es el hombre, el especialista que fue fabricando la cultura constructiva. Esta especialización hace posible que hoy se pueda admirar sus obras, aún varios siglos después de construidas. En tiempos prehispánicos los maestros albañiles o *pircakamayoq* en idioma quechua eran poseedores de un oficio especializado equivalente a otros, como los plateros, olleros o tejedores, es decir eran grupos de personas que se dedicaban exclusivamente al desarrollo de un oficio específico, en este caso el de la construcción. Por las crónicas españolas se sabe que en tiempos del incanato los albañiles eran especialistas que vivían de su trabajo y realizaban solo obras para el inka debido a la intensidad de la actividad constructora imperial. Rostworowski (1988) menciona que en la costa la mano de obra para la construcción era altamente especializada y cada trabajo era cumplido por determinadas personas que se encontraban agrupadas como gremios, sin que se pudiera cambiar de oficio por otro, prohibiéndose el ejercicio de cualquier otra labor. Estas condiciones favorecieron, a la administración colonial al contar con una fuerza de trabajo entrenada y muy especializada. En tiempos incas, la mayor parte de la mano de obra que se encargaba de actividades complementarias a la obra de construcción como la producción de materiales, el acarreo, excavaciones, etc. era proveída a través de la *mit'a*, que consistía en el aporte de trabajo que cada individuo estaba obligado a realizar a manera de tributo. Es probable que un sistema similar de organización del trabajo se haya empleado en la construcción de las obras del presente estudio.

Las herramientas empleadas en las obras de construcción en el antiguo Perú son casi un misterio. La condición ágrafa de las sociedades precolombinas y la falta del registro de esta actividad en época colonial, las reducciones de indios, y muchas otras circunstancias no han permitido que se tengan noticias acerca de estos artefactos. Se sabe que la actividad constructora fue eminentemente manual y que las herramientas no eran sofisticadas. La falta de conocimiento, probablemente, ha causado que numerosos artefactos no se hayan registrado adecuadamente como herramientas de construcción, como lo sucedido con las gaveras o moldes para la fabricación de adobes⁵ y hayan pasado desapercibidos para los especialistas.

⁵ En un estudio anterior, el autor había notificado el hallazgo de una gavera o molde para la fabricación de adobes hasta en dos sitios arqueológicos diferentes. Las piezas eran tablas, labradas y alisadas y cuyos extremos tenían perforaciones para que se pudiesen amarrar las cuatro piezas que formaban el molde. Lamentablemente, piezas como estas han pasado desapercibidas para los arqueólogos y en los registros aparecen como de uso no determinado.

5.1.2. Aspectos estructurales. Hipótesis.

Las estructuras de tierra son sumamente frágiles. Una vez agrietadas, sea producto de las vibraciones sísmicas o debido al proceso de secado del barro, dejan sus condiciones de estabilidad iniciales para comportarse de una manera totalmente desconocida. Pensar y analizar este fenómeno para darle estabilidad a estas construcciones pudo ser el camino para el diseño de los muros segmentados. La capacidad de deformación de las estructuras monumentales de tierra una vez que se agrietan es de una magnitud incierta. Téngase en cuenta que una estructura real no se comporta como en un ensayo de laboratorio con unas condiciones perfectamente conocidas, controladas, etc.

Es importante señalar algunas consideraciones importantes para tener en cuenta en el desempeño estructural de los muros de tierra, las cuales serían:

- Cuando estos muros conformaban unidades grandes o masivas y la energía sísmica era considerable los muros no solo trabajaban a compresión sino bajo otras sollicitaciones como a tracciones o flexiones.
- La tierra como material de construcción es un material en extremo frágil, es decir, que admite muy poca deformación sin agrietarse, debido a que la capacidad a flexión y a tracción es casi nula. Esta cualidad se tuvo en consideración desde épocas iniciales de la historia de la arquitectura peruana. Para ello se incluyeron refuerzos, como las *shicras* (Ver figura 50) que eran unas bolsas de fibra vegetal, algunas veces de gran tamaño, que servían para dotarle a los rellenos constructivos de capacidad para esfuerzos de tracción. Estos refuerzos le permitieron aumentar la capacidad global del edificio para deformarse o tener deformaciones con algún nivel de control, el empleo de bolsas de contención o *shicras* para rellenos constructivos y el de telares de quincha con refuerzos de fibras vegetales para muros son dos técnicas muy efectivas empleadas desde los inicios de la arquitectura en el antiguo Perú.
- La materia tierra es susceptible de cambios de volumen, en especial las que contienen arcillas montmorilloníticas que, debido a la capacidad de absorber el agua en forma interlamilar, pueden aumentar de volumen considerablemente. Por tanto, el barro requirió ser estabilizado: Desde la fabricación de adobes en las épocas más tempranas o antiguas se añadieron fibras vegetales a la mezcla logrando adobes de gran rigidez (se han registrado adobes y revestimientos con presencia de abundante fibra vegetal).



Figura 51. *Shicras* o bolsas de relleno elaboradas con fibras vegetales para darle cohesión a los rellenos constructivos de los edificios en épocas precolombinas. Fuente: Henry Eduardo Torres

5.1.2.1. Segmentación de muros. Posible influencia en la función sismo-resistente

Una respuesta a la condición de rigidez y de fragilidad de las obras de tierra parece haber sido la modulación o el uso de segmentos de muros. Hay claros ejemplos de construcciones que lo emplearon, tanto con adobes como en muros de tierra modelada. Su aspecto se confundía con grietas por secado del barro. Sin embargo, el registro arqueológico ha permitido verificar que no lo son. Cronológicamente el criterio de la segmentación y modulación se usaba desde la época de desarrollo de la Cultura Lima (año 200 d.C. aproximadamente). Actualmente todavía pueden apreciarse los bloques de sección triangular- trapezoidal que se agrupan, calzan y ajustan soportándose entre ellos como si se trataran de cuñas o claves para de esa forma comprimir los bloques adyacentes. La modulación se realizó tanto para formar estructuras masivas (plataformas) como en muros (cerramientos). El presente trabajo propone que se trata de un original sistema de construcción con virtudes de sismo-resistencia y bien planificado. Esta investigación se ha dirigido hacia los muros elaborados con esta técnica constructiva.

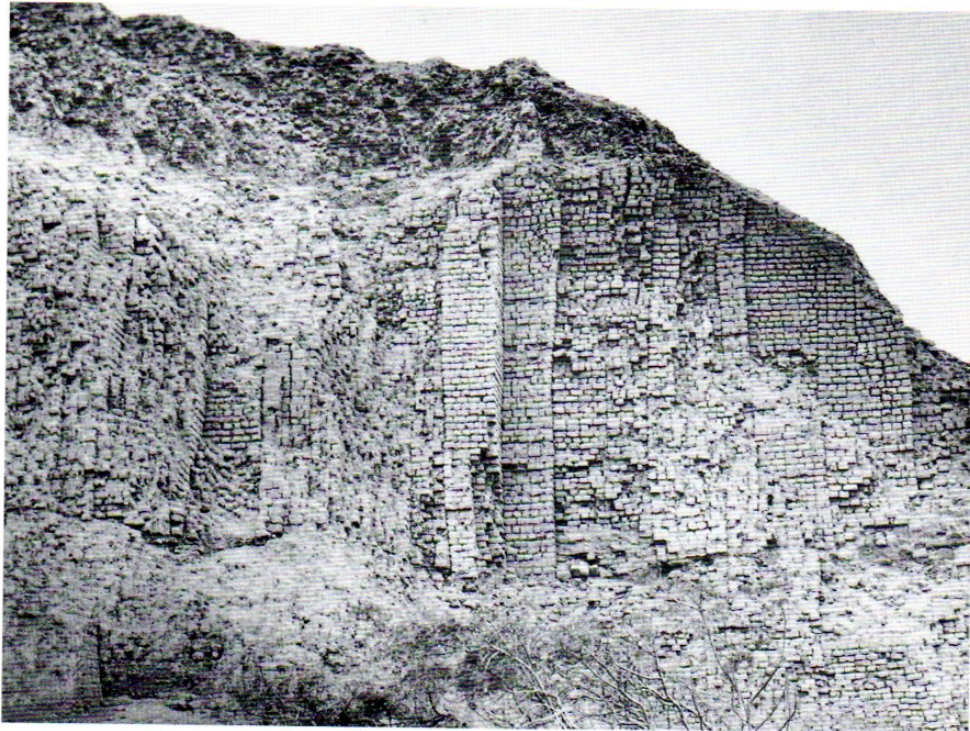


Figura 52. _Segmentos verticales de adobes en la Pirámide del Sol. Fuente: (Shimada, 1997).

Una observación importante ha sido diferenciar el uso en murallas perimétricas y el uso en plataformas. En ambos casos las condiciones de servicio son diferentes. Los muros perimétricos pueden llegar a tener un comportamiento como muros de gravedad, mientras que los que forman estructuras masivas tienen más de dos de los lados arriostrados.

En segundo lugar, en algunos tipos de muros se mantiene la junta entre bloques que va casi siempre en forma ininterrumpida desde la base hasta la cabecera del muro, un caso que se repite en plataformas y estructuras masivas. Tanto en el caso de muros como de plataformas, las juntas presentan un ángulo de inclinación entre 10 a 15 grados con respecto a la vertical, aunque ello requiere mayor investigación para determinar algunos otros detalles constructivos.

En la construcción de muros se emplearon formas de trapecoides denominadas **muros ordenadores**, empleados como elementos confinantes y formas de cuadriláteros y trapecoides invertidos como elementos confinados. Este patrón se repetía tanto en muros de adobe como en muros de tierra modelada. Por lo general, las formas son múltiples, la longitud de los módulos de muros era de un ancho variable. También existen segmentos esbeltos de uno o dos metros construidos entre otros mucho más anchos. Lo que es común entre todos los casos es el criterio de mantener los bloques unidos unos a otros mediante planos inclinados de apoyo.

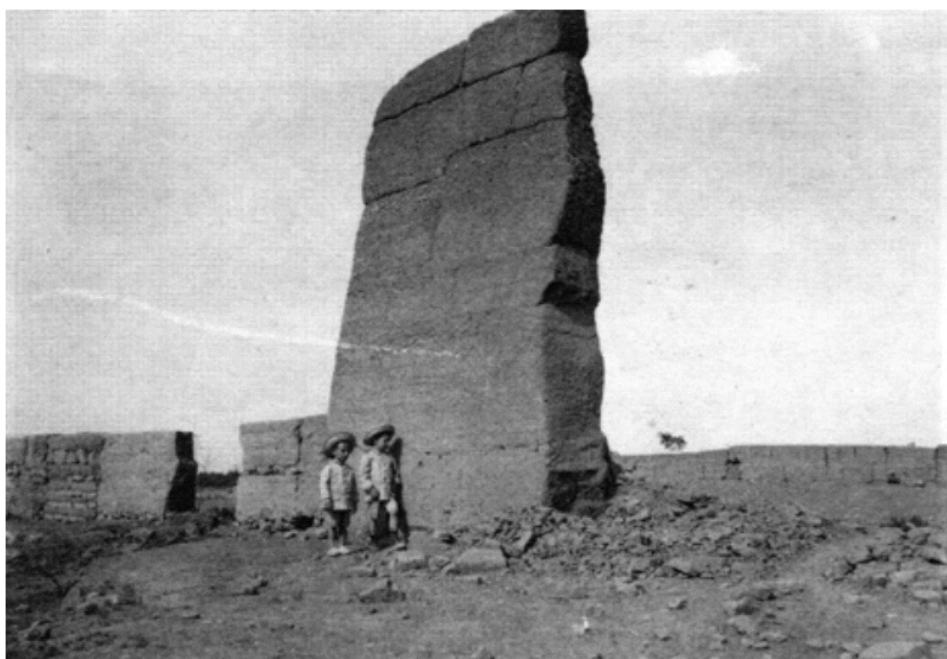


Figura 53. Restos de un segmento de muro del sitio Mateo salado. Fuente: Archivo Tello.

Como se ha mostrado, la modulación de los muros se realizó empleando adobes como tierra modelada. En ambas técnicas las formas de modulación fueron similares. Se estima que el uso de módulos o segmentaciones se hacía hace aproximadamente 2000 años, mientras que el muro de tierra modelada logró una difusión 1000 años después aproximadamente. Por tanto, el criterio de segmentar o modular era muy antiguo. Esto es significativo pues la geometría de los bloques, la proporción y forma de los segmentos se mantuvo similar, lo que indica que su ejecución se debió necesariamente a un procedimiento en obra que no cambió al adaptarse a un nuevo sistema constructivo.

Un buen ejemplo del uso de la segmentación de muros de adobes se encuentra en el Santuario arqueológico de Pachacamac. En la denominada Pirámide con Rampa N°3 se pueden apreciar varias decenas de metros lineales de muros construidos bajo este criterio. En forma similar a los muros de tierra modelada, se pueden observar formas trapezoidales y de cuadriláteros con las juntas formando planos inclinados para el apoyo entre bloques. Los aparejos empleados son los que intercalan hiladas de cabeza y soga alternadamente que le brindan una buena rigidez a cada bloque independiente. Gracias al empleo de adobes en los muros es más evidente el empleo de las segmentaciones.



Figura 54. Semienterrado se observa un muro ordenador construido con adobes, tiene ambos lados inclinados a los que se la han adosado otros muros. Se aprecia el tipo de aparejo usado. Santuario arqueológico de Pachacamac. Fuente: Henry Eduardo Torres.

Se aprecia en las juntas entre bloques señales de desplazamientos, golpes entre bloques y colapsos de segmentos sin afectar al conjunto total de la muralla de la cual forma parte, lo que se interpreta como otro indicativo de funcionamiento del sistema, pues se propone que el objetivo de este criterio constructivo era evitar el colapso total de la estructura.

Se descarta que esta modulación y las juntas se hicieran con fines estéticos pues los muros tenían revoques que no permitían apreciarlas desde el exterior del edificio. De acuerdo con los registros, tanto en los bloques cuadrangulares de los Moche (Shimada, 1997) o en los muros perimétricos Yschma, las juntas de unión de los bloques no se exponían originalmente hacia el exterior de la edificación y por tanto no respondían a necesidades estéticas, necesariamente.



Figura 55. Vista de un muro con segmentos claramente establecidos. Fuente: Henry Eduardo Torres.

Hacer una modulación no era un trabajo fácil y el rendimiento de los trabajadores debió ser inferior a una construcción sin segmentar. Esto se aprecia especialmente en los muros de adobes. Su empleo permite pensar que se debió a necesidades técnicas estructurales. La exigencia de construir las grandes murallas, siguiendo esta modulación y siguiendo estrictamente los aparejos y alternancia de unidades, lleva al convencimiento que se debió a exigencias de carácter físico-mecánico y muy probablemente sísmico. Corresponde a la disciplina arqueológica determinar la cronología de estas técnicas constructivas para que las tradiciones arquitectónicas como la que se presenta en esta investigación sirvan como indicadores de investigación del pasado, sumándose al empleo de la cerámica, contextos funerarios, entre otros.



Figura 56. Bloque ordenador de gran tamaño, con más de 3 m de altura y al menos 4 m de ancho. Se aprecia el tipo de aparejo usado. Santuario arqueológico de Pachacamac. Fuente: Henry Eduardo Torres.



Figura 57. Izquierda: Vista en detalle de la junta entre segmentos de muros. Derecha: Segmentos cortos de un tramo de muro en buen estado de conservación. Santuario arqueológico de Pachacamac. Fuente: Henry Eduardo Torres.

La ausencia de moldes en la construcción de muros de tierra modelada pudo haber obligado a usar caras inclinadas en los extremos del tramo en construcción para evitar el uso de un tope, tal como se hace actualmente. Sin embargo, en el caso de los adobes, podían lograrse extremos

perfectamente verticales y sin embargo se usaron los mismos bordes inclinados. Esto da soporte a la idea de que su uso se debió a una necesidad de mejorar la estabilidad estructural en caso de sismo sobre una condición propia del material empleado en las obras.

En los muros de adobe se puede apreciar que las hiladas inclinadas se acomodan al perfil del suelo de apoyo y luego van nivelándose hasta colocarse horizontalmente. Probablemente en algunos casos tuvieron que construirse en forma simultánea los bloques constructivos aún desde la base. Ello sería concordante con el planteamiento de una detallada y muy cuidadosa planificación. Desde el inicio se tuvieron que proyectar las formas y los muros que serían los topes (Agurto, 1984, p. 137). Esta planificación demuestra además la confianza que se tenía en el sistema constructivo en especial para cerramientos pues, al no adosarse a estructuras mayores, se comportaban estructuralmente muros de gravedad. La ausencia real de un empotramiento en la base y la sucesión de bloques de muros que transmitían su peso a través de las juntas inclinadas a los bloques contiguos permitió el funcionamiento del sistema, produciendo una compleja mampostería que mantuvo el sistema estable a lo largo del tiempo.



Figura 58. Izquierda: Detalle de la junta entre bloques constructivos formados por adobes. Fuente: Henry Eduardo Torres. Derecha: propuesta de construcción de grandes muros de adobe según Harth Terre. Fuente: (Harth-Terre, 1965)

5.1.2.2. Análisis de la segmentación en muros de tierra modelada

Se plantea que lo que se buscaba con la segmentación geométrica de los muros era que la estructura se comportara de forma tal que pueda ser de cierta forma predecible y racional. El resultado fue intentar preestablecer la forma cómo se comportaría dicha estructura, al menos en parte: los adosamientos de bloques formando grandes muros responden a una necesidad de convertir un bloque monolítico de tierra de comportamiento frágil en uno que se acerque a un comportamiento dúctil. Es un criterio para resolver el comportamiento de estructuras que tienen un alto grado de fragilidad de una forma determinística y sencilla:

Los desplazamientos de las estructuras antiguas son impredecibles y la magnitud de las fuerzas son una incógnita. Por tanto, su comportamiento es hipotético y en el cual las acciones sísmicas ocurren. (Huerta, 2017).



Figura 59. Bloque ordenador, con unos 5 m de altura. Se mantiene estable entre dos segmentos derrumbados. Huaca Tres Palos. Fuente: Henry Eduardo Torres.

La segmentación fue un procedimiento encargado de brindar al muro la resistencia suficiente para mejorar la respuesta en caso de sismos, de tal manera que las juntas de contacto entre los bloques formaban rótulas plásticas en localizaciones predeterminadas para formar un mecanismo similar a un comportamiento dúctil de la estructura. A través de estas uniones se disipaba energía sísmica y se obtenía mayor capacidad de deformación, cada zona de contacto se convertía así en una rótula plástica capaz de deformarse.

El armado de muros dividido en segmentos requirió de previsión de sus componentes. La disposición de los segmentos constructivos con lados inclinados es tal que los esfuerzos laterales de origen sísmico se convierten en esfuerzos de compresión que transmiten cada segmento a los muros confinantes y se reparte a lo largo del muro. El peso de cada bloque se puede descomponer en dos fuerzas, una perpendicular a la superficie de contacto de cada bloque y otra paralela a esa misma superficie. La fuerza perpendicular a la superficie trabaja en compresión con el segmento contiguo equilibrándose. En cuanto a la segunda fuerza, la cual carga al segmento para que se deslice en el plano de unión entre bloques, dada la forma de los segmentos y a la rugosidad de las superficies en contacto la fuerza también es equilibrada.

La carga entre bloques transmite sucesivamente unos a otros esfuerzos de compresión, mientras éste tenga las dimensiones adecuadas podrá absorber estos esfuerzos y no agrietarse por este componente de fuerza.

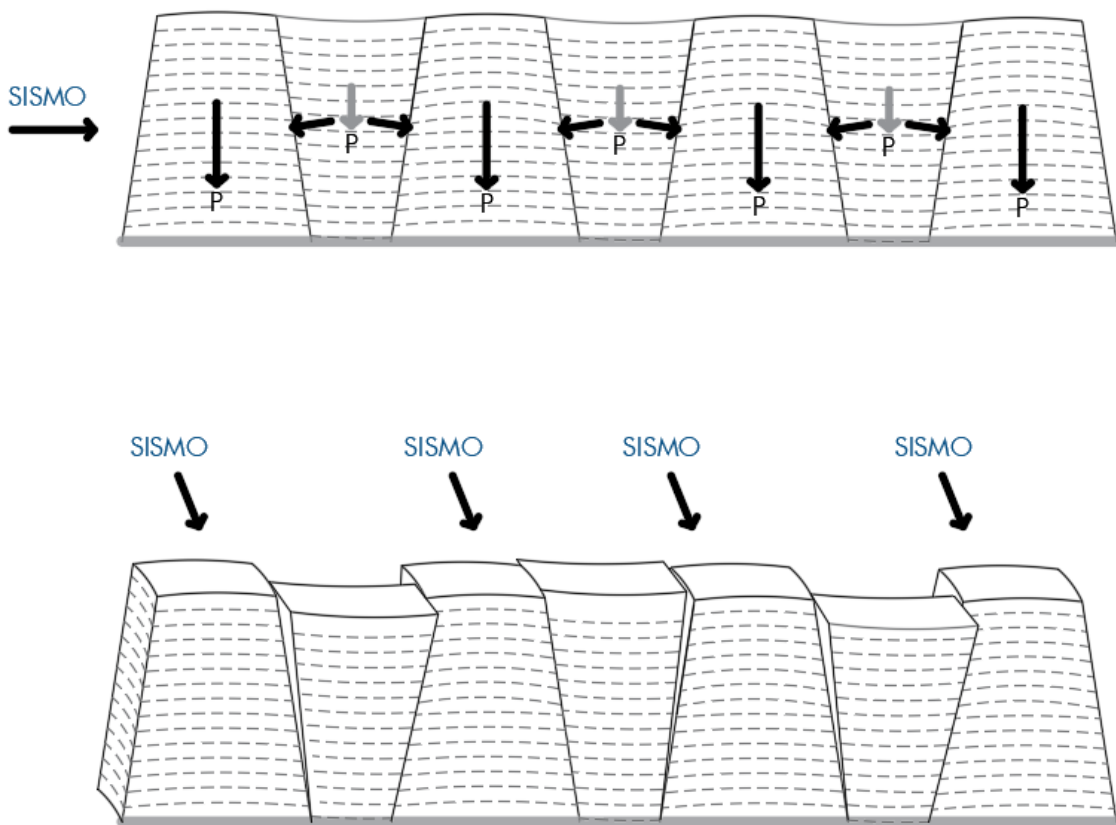


Figura 60. Fuerzas que actúan sobre los muros cuando se construyeron segmentados, las fuerzas son debido al peso propio y al sismo. En el segundo caso los desplazamientos y colapsos ocurren en ciertas zonas no afectando la estructura en su totalidad. Fuente: Henry Eduardo Torres.

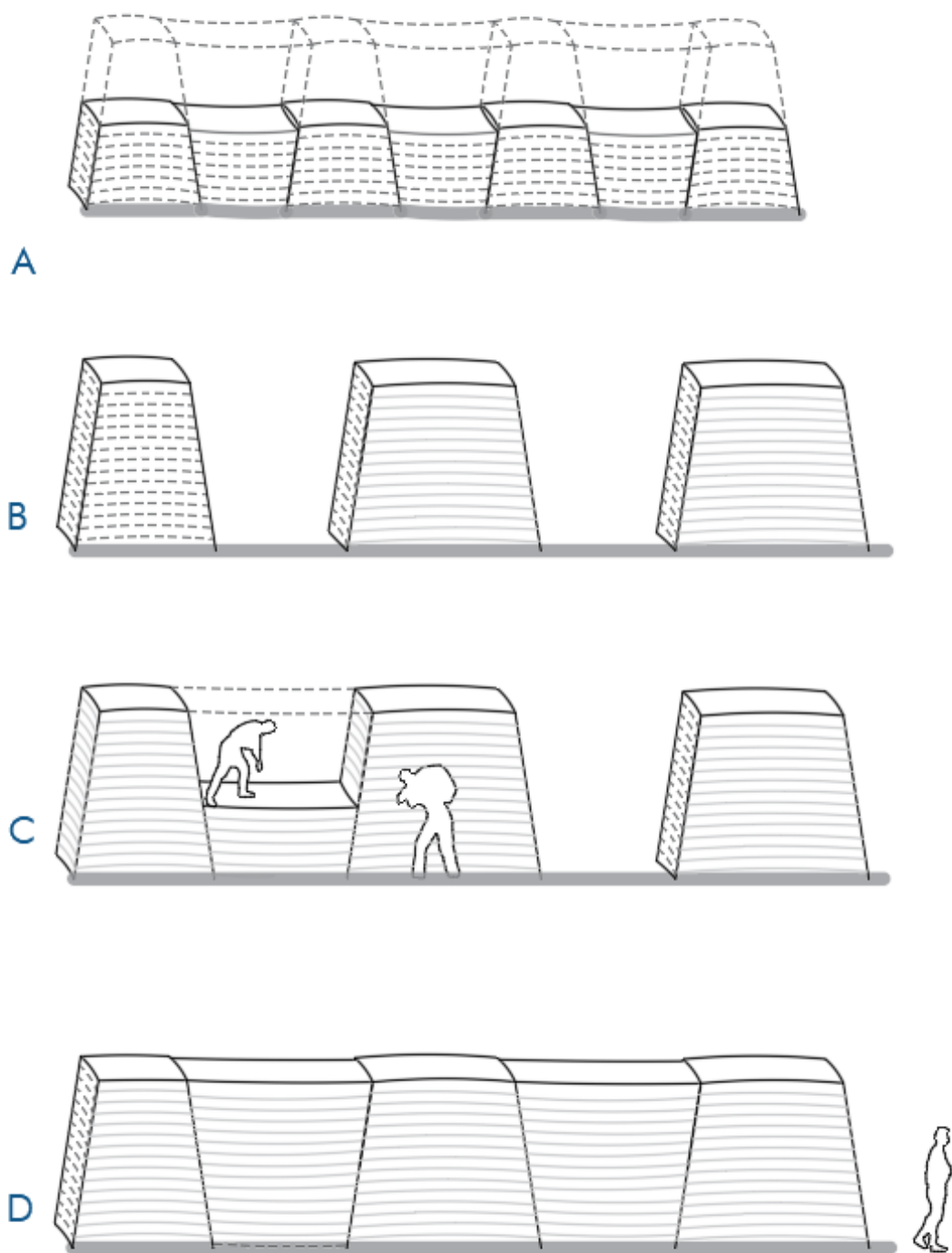


Figura 61. Secuencia de posibilidades en la construcción de los muros segmentados. A: Bloques construidos simultáneamente. B, C y D: Construcción alternada. Fuente: Henry Eduardo Torres

En un capítulo anterior se mencionaron algunos tipos de muros que podían encontrarse en los sitios visitados. A fin de explicar mejor los desempeños estructurales tomados en consideración

para su construcción se muestran los análisis desarrollados para determinar la lógica estructural seguida por los constructores para garantizar que la estructura trabajará con sus elementos bajo esfuerzos de compresión.

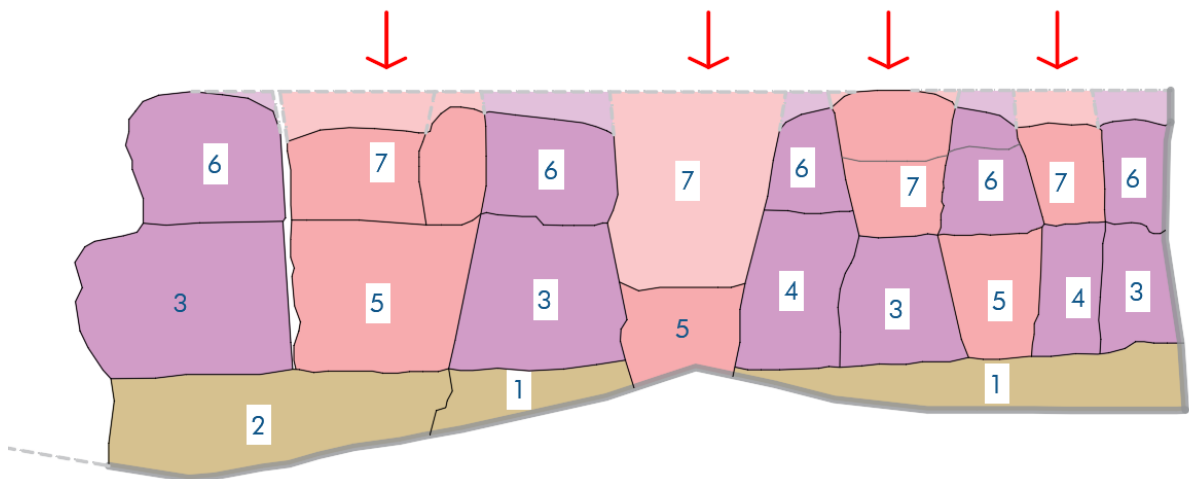
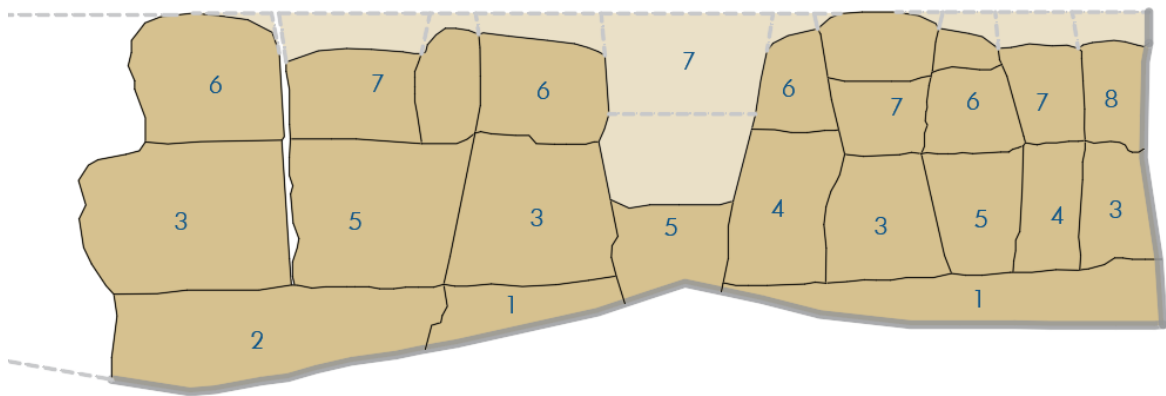
En la figura 61 muestra el análisis estratigráfico realizado a un muro perimetral de unos 70 cm de ancho, presenta algunos colapsos puntuales, la mayor parte de la estructura se mantiene en un estado aceptable. La figura 62 muestra partes de la muralla de Chuquitanta, una construcción amurallada de al menos 4 m de ancho, construida masivamente con tierra modelada. A continuación, se muestran los desarrollos de la mampostería empleada en los 3 casos de muros.

En la figura 61, los eventos constructivos 1 y 2 sirven de fundación para todo el muro. Es una capa horizontal en forma de cimiento que se construye sobre el terreno. Las fases 3 y 4 forman los bloques ordenadores, es decir se construyen con lados inclinados, tienen forma trapezoidal. El evento 5 rellena y se apoya en los eventos previos 3 y 4 siguiendo el contorno dejado por estos segmentos de muros.

El evento o fase 6 da altura a los eventos previos 3 y 4, siguiendo el alineamiento inclinado de estos. Es interesante el bloque de esta fase que se construye sobre el de fase 5, que no sigue el alineamiento, sino que lo cambia, invirtiendo con ello el comportamiento del bloque, y sin embargo logrando un ajuste muy estable.

La fase 7 termina de completar la altura final del muro apoyándose en todos los casos en la fase 6 actuando como elementos de ajuste o "claves" de toda la estructura.

En la figura 62, se muestran partes de la gran muralla de Chuquitanta, las partes que van componiendo el muro se van adicionando verticalmente y podrían construirse simultáneamente. Existen otros casos donde el ordenamiento del muro se hace horizontalmente, es decir los bloques se van colocando a partir de un gran bloque ordenador colocando un bloque tras otro como en el caso del muro C y el muro de la Figura 60.



0 m. 1 m. 2.5 m. 5 m.

Figura 62. 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: Henry Eduardo Torres.

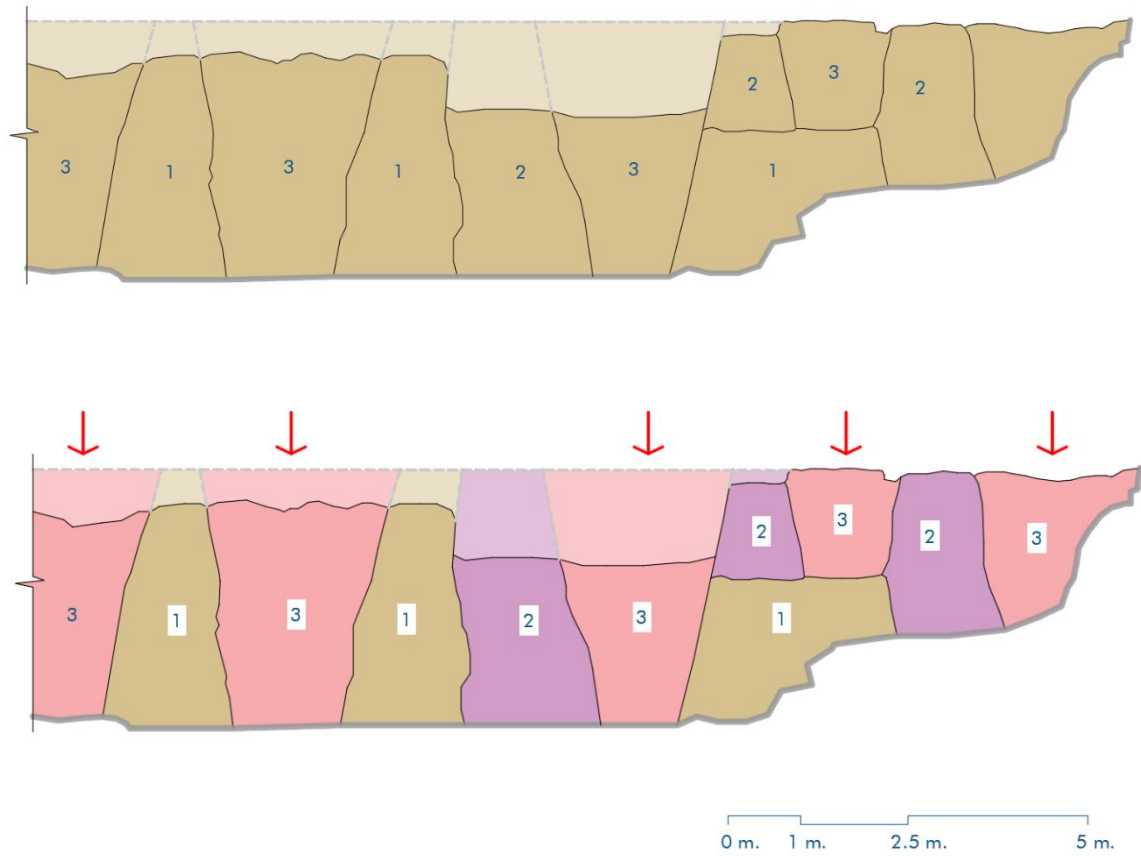


Figura 63. Análisis estratigráfico de las fases constructivas de una parte de la muralla de Chuquitanta, se muestran los 3 grandes momentos constructivos. Las flechas señalan la ubicación de los muros que actúan como claves. Fuente: Henry Eduardo Torres.

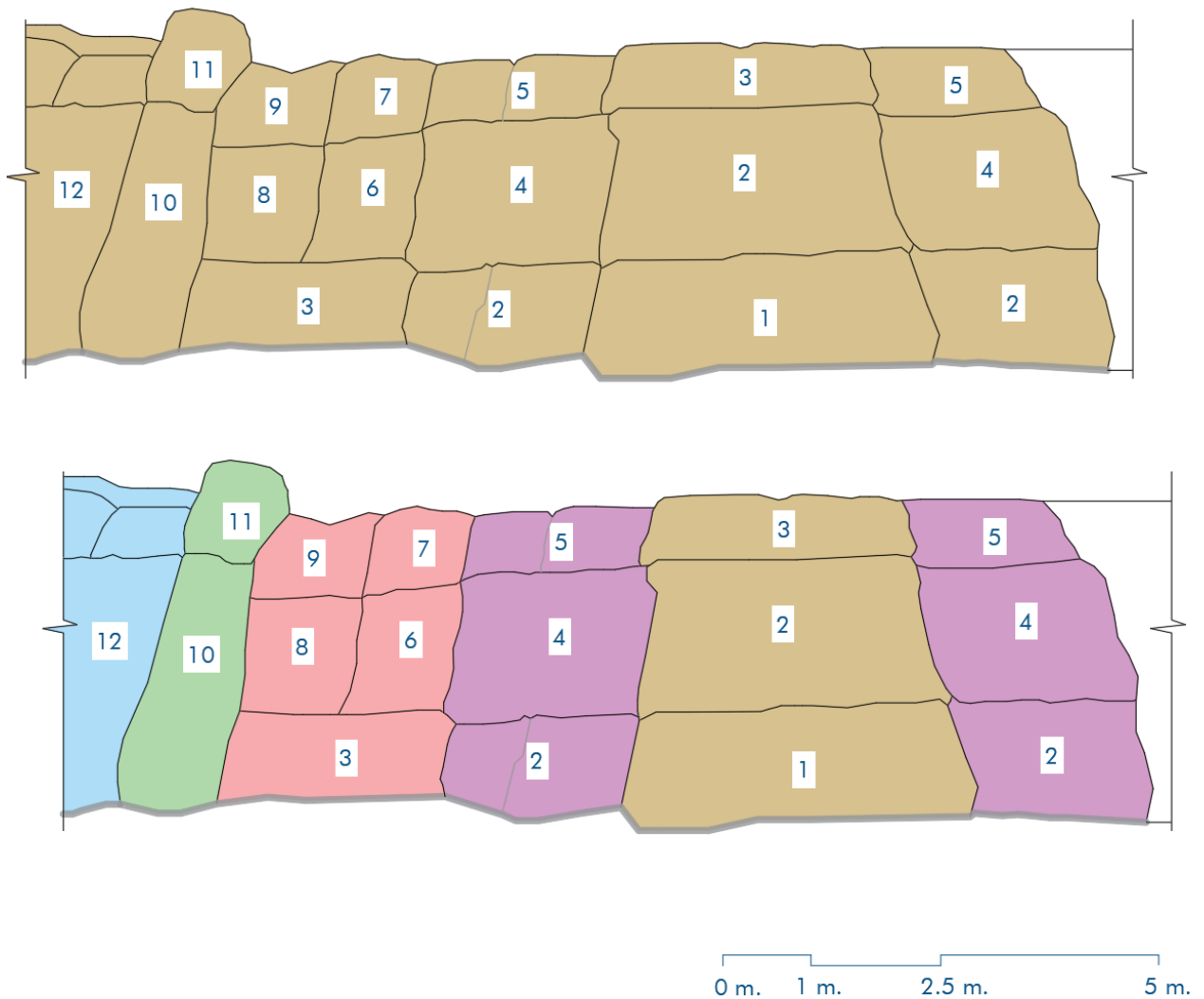


Figura 64. Análisis estratigráfico de las fases constructivas de un segmento de la muralla de Chuquitanta, se muestra la secuencia de cinco momentos constructivos. Los muros se van adosando unos a otros a partir del muro ordenador. Fuente: Henry Eduardo Torres.

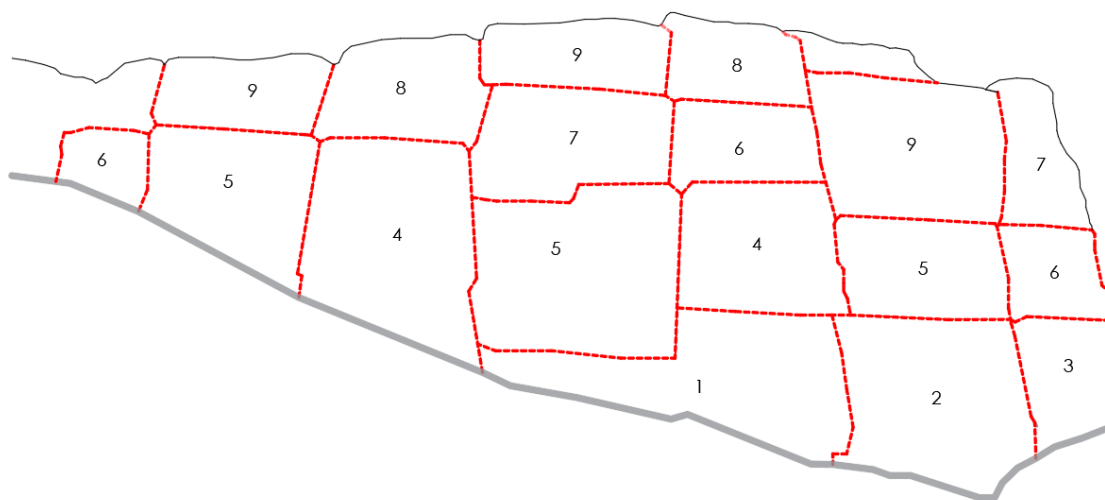
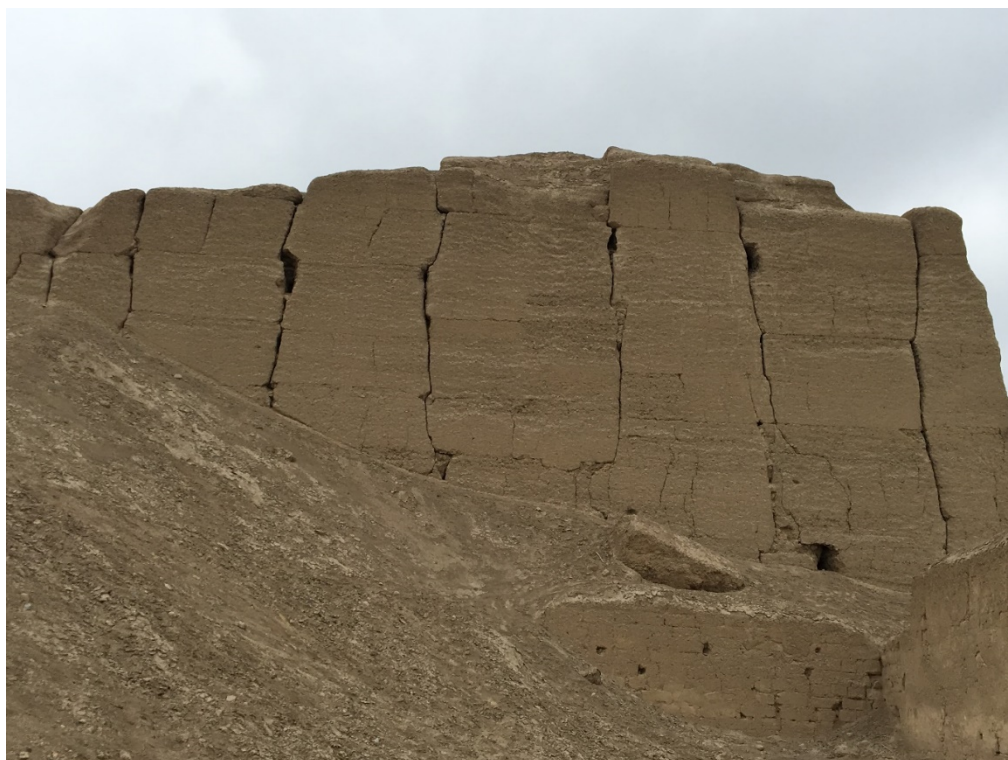


Figura 65. Muro dentro del complejo arqueológico Huaca Centinela, planteamiento estratigráfico de la composición del muro. Fuente: Henry Eduardo Torres.

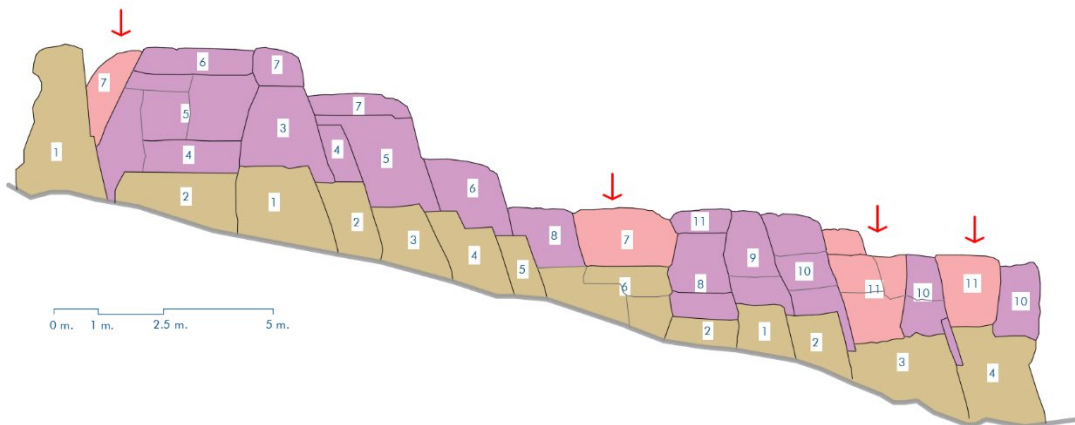
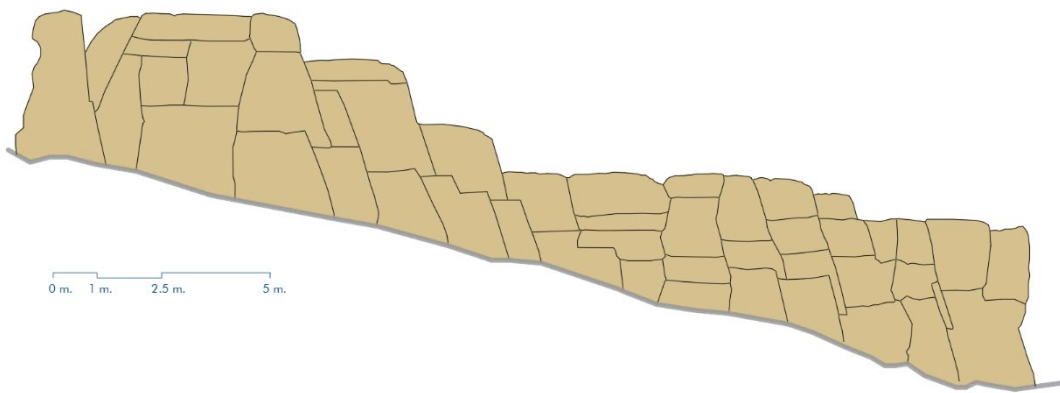


Figura 66. Muro construido en un terreno con un fuerte declive, se indican con colores los tres grandes momentos constructivos y con flechas los muros que actúan como cuñas ajustando en compresión al conjunto de la muralla. Sitio arqueológico Huaca Cerro Respiro. Fuente: Henry Eduardo Torres.

Los muros que se construyen sobre terrenos en declive como el de la figura 65 requieren de una organización un poco más compleja pues los pesos deben equilibrarse en la pendiente para que puedan acomodarse posteriormente cuando se realice el cambio hacia un terreno plano. En el caso de la figura analizada se construyen las primeras fases (1, 2, 3 y 4) escalonadamente, perfilando la forma final del muro. Posteriormente, se construyen una serie de bloques trapezoidales que se van adosando al primer gran bloque ordenador ubicado en la parte alta del declive. Estos bloques trapezoidales se van colocando ordenadamente, apoyándose en los bloques de las primeras fases y en el bloque ordenador, formándose una serie de juntas inclinadas.

De este conjunto es muy interesante el elemento cuña ubicado en la parte superior que convierte la junta vertical que en inclinada para poder dotar al encuentro de muros de un apoyo permanente por la compresión que ejerce debido al peso asegurando la compresión del conjunto.

Una estructura de este tipo, no se encuentra físicamente empotrada ni articulada, se verifica que en cada junta existe el principio de rótula, lo cual permite la dislocación de la estructura gracias a la cual puede experimentar algunas variaciones de perfil y desplazarse sin tener derrumbes con pequeños movimientos (filosofía de las estructuras p. 145), Este equilibrio de fuerzas demuestra cómo puede convertirse el esfuerzo de flexión debido al sismo en otro de compresión que garantiza la estabilidad del conjunto.

Un detalle interesante son los elementos cuña, es decir los segmentos en forma de trapecio con la base menor hacia abajo que sirven para dar ajuste a los demás bloques. Estos fueron colocados en ciertos puntos previstos con un claro propósito de ajuste del conjunto. Estas cuñas ya se empleaban en las plataformas masivas de la época de la Cultura Lima y el principio mecánico también es muy sencillo: el elemento cuña debido al peso y al factor tiempo genera grandes fuerzas en sentido perpendicular a las superficies en contacto, ajustándolas en forma similar al comportamiento de la clave en un arco dovelado, ejerciendo esfuerzos de compresión necesarios para que el sistema mecánico funcione.

El arriostamiento transversal de los muros se lograba de una forma más compleja, porque se vinculaban varios factores para lograrlo. La restricción horizontal al sismo en el sentido longitudinal del muro, es decir en el plano del muro, se daba debido a la transmisión de las fuerzas entre bloques a través de las juntas. En el sentido transversal, es decir para fuerzas fuera del plano del muro hubo varios factores que podemos analizar.

El peso de los bloques, debido a las monumentales dimensiones de algunos muros el peso fue un factor importante para mantener la estabilidad en la dirección transversal al muro, algunos bloques pesan varias toneladas por tanto el componente de fuerza que no solo era vertical, sino que en muchos casos como se ha mostrado una componente del peso se aplicaba a los bloques adyacentes mantuvo debido a la fuerza de gravedad la unión entre las unidades.

La forma de la sección del muro, en casi todas las estructuras registradas la sección transversal de los muros no es recta, sino que tiene una inclinación, el muro se va angostando hacia el extremo superior lo cual hace que el centro de gravedad del conjunto sea de menor altura respecto de la base, favoreciendo la estabilidad transversal (Ver figura 66).

Además, cuando se hacen estructuras masivas, los muros se construyen apoyándose transversalmente en las fases previas, es decir se arriostran tanto en el lado longitudinal como transversal.

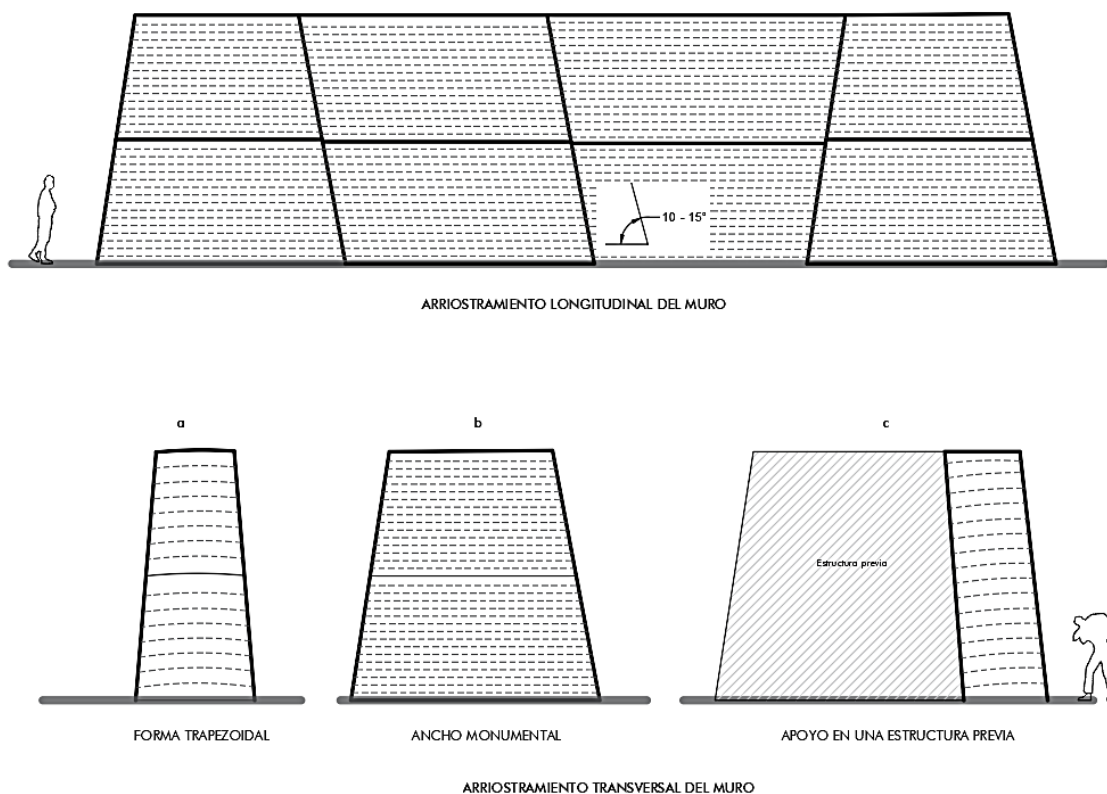


Figura 67. Esquema del arriostramiento longitudinal y transversal en los muros. Fuente: Henry Eduardo Torres.

Las irregularidades de los planos de apoyo contribuyeron a limitar el deslizamiento entre bloques, las superficies de tierra no son lisas sino rugosas, pero la fricción no limitaría el desplazamiento. La magnitud de las fuerzas de contacto en estos planos de apoyo no han sido

medidas en este trabajo y sin duda tienen influencia en el desempeño estructural. Se ha mencionado en esta investigación que el ángulo de apoyo está alrededor de los 10 a 15 grados respecto de la vertical, quedaría por investigar que sucede en casos de menores o mayores ángulos para analizar como varía la fuerza de fricción, que le brinda el arriostamiento suficiente entre los bloques, este ángulo se emplea frecuentemente en los sitios que se han registrado.

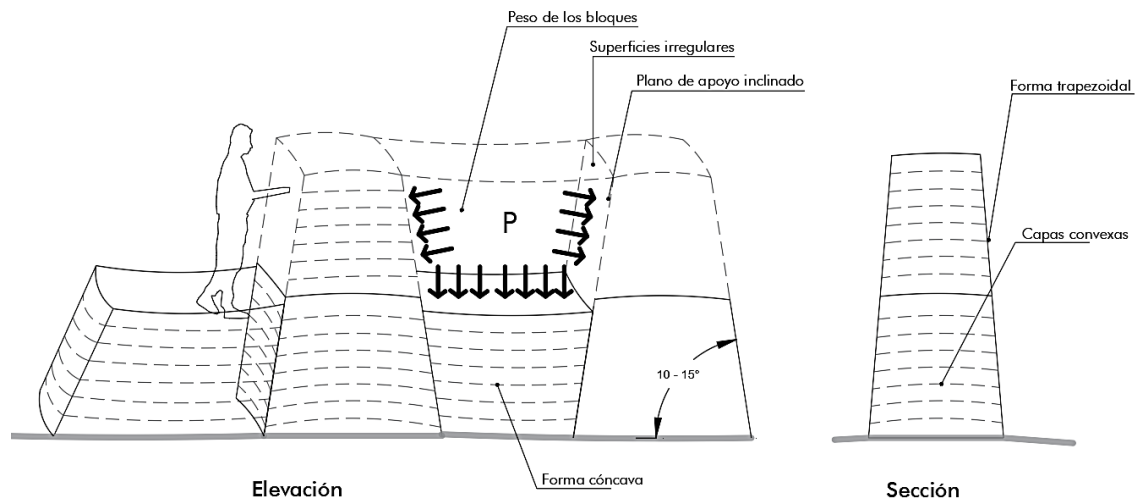


Figura 68. Esquema de los factores que favorecen el arriostamiento transversal en los muros. Fuente: Henry Eduardo Torres.

Este principio además se puede apreciar claramente en elementos tan sencillos como las clausuras de vanos de puertas que se encuentran en varios sitios arqueológicos y cuyo cerramiento tienen una forma de trapecio invertido o en "V" lo cual da un alcance del criterio desarrollado para la estabilidad de los bloques de manera muy simple, confiando su estabilidad al equilibrio de fuerzas. El bloque descansa sobre soportes inclinados y con ello se garantiza que se mantendrá en equilibrio estático debido al peso. Por tanto, en este tipo de cierres de vanos se emplea la condición de geometría de los bloques y las superficies de contacto de los bordes para lograr un buen resultado. Este pequeño ejemplo muestra sin duda la lógica empleada en las obras de mayor escala.



Figura 69. Tramo de muro de tierra modelada, pertenece a un recinto que ha sido acondicionado como auditorio, la estructura ha sido conservada, se pueden apreciar las segmentaciones de forma trapezoidal perfectamente definidas desde la base a la parte superior. Fuente: Henry Eduardo Torres.

El principio mecánico que gobierna o dirige este tipo de estructuras son aparentemente simples: **Las juntas entre bloques le dan plasticidad al muro, para adecuarse a las distintas variaciones de las condiciones a la que es sometida a lo largo de los años.**

Paulay (1995) mencionaba que, para asegurar la supervivencia estructural de una edificación a un gran terremoto, se requiere escoger un mecanismo para asegurar que todos los lugares donde tendrá lugar la disipación de energía por deformación estén claramente identificados, estrategia simple que tiene coincidencia con la hipótesis del comportamiento de los muros segmentados.

La incertidumbre acerca del comportamiento de las estructuras se resolvió mediante la segmentación de los muros, esto es, estableciendo las zonas donde la estructura debería fallar, seguramente en un proceso de ensayo-error largo pero que dejó claros ejemplos de los progresos de esta filosofía. Como se ha demostrado, los constructores descubrieron a partir de la observación y posteriormente por la experimentación (Huerta, 2004), es decir siguieron un método completamente científico para descubrir que la disposición geométrica de los segmentos de muros lograba estructuras aptas para poder soportar sismos frente a otras estructuras que no tenían tal condición.

Ténganse en consideración que el criterio donde se emplea la disipación de la energía sísmica en las edificaciones del antiguo Perú no es nuevo. Ya se usaba con las *shicras* (Vargas Neumann, et al., 2012), unas bolsas de fibra vegetal que se empleaban en los rellenos constructivos de las edificaciones como refuerzo estructural veinte siglos antes del uso de los bloques segmentados. Recientes estudios han evaluado el comportamiento dinámico corroborándose que las *shicras* pueden reducir la aceleración sísmica hasta en un 25% (Fukuyama, et al., 2016), confirmando los planteamientos que se realizaron el año 2011 acerca del aporte a la estabilidad de las estructuras de estos artefactos.

Silgado (1981) señaló que en 400 años se habrían registrado en Perú alrededor de 2.500 sismos, muestra de la actividad sísmica de la costa peruana. Sin duda estos fenómenos fueron asimilados por las sociedades del antiguo Perú para proponer soluciones ante los continuos eventos extremos que en diversa magnitud los afectaban. Esta investigación ha permitido establecer que la segmentación de muros permitió bajo demandas sísmicas de poca intensidad que el daño correspondiente fuera menor y probablemente fácilmente reparable. Varios segmentos que forman los muros se encuentran desplazados de su posición original, aunque independientemente unos de otros. Estos desplazamientos fueron posibles gracias a las juntas de construcción entre bloques que formaron una especie de rótula plástica en la zona de contacto entre ellos.

La idea de convertir un objeto extremadamente rígido en un elemento flexible, entendiéndose que las juntas entre bloques le otorgan algún nivel de flexibilidad es un avance notable en la construcción con tierra considerando los desplazamientos originados por sismos.

La difusión de los segmentos constructivos requirió planificación. Los muros construidos con esta técnica tienen elementos de confinación y de ajuste que se construyen en una forma lógica con el objetivo de mantener el máximo ajuste entre bloques asegurando la estabilidad de toda la estructura, se emplearon un “catálogo de formas” (Huerta, 2004) que les permitía otorgarles a las estructuras un nivel de seguridad aceptable.

¿Quién podría en estos tiempos construir y garantizar que una estructura de tierra no reforzada pueda durar varios siglos sin colapso en una de las zonas más sísmicas del planeta? Para ello es vital la observación, el aprendizaje y la aplicación de criterios técnicos que permitan superar las limitaciones intrínsecas que todo material posee.

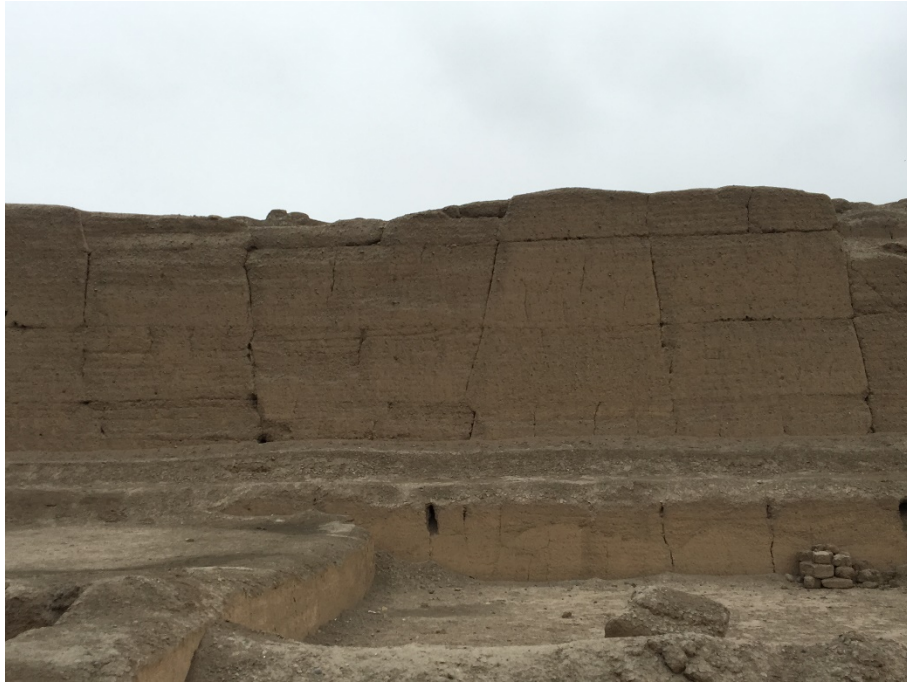


Figura 70. Bloques constructivos de tierra modelada en buen estado de conservación luego de 700 años. Huaca Maranga. Fuente: Henry Eduardo Torres.

5.2. Patologías en muros de tierra modelada

Un aspecto que ha motivado este trabajo ha sido también contribuir a la conservación de las edificaciones arqueológicas construidas con esta técnica tradicional de épocas precolombinas. Para ello se han clasificado las patologías en dos ámbitos, aquellas cuyas afectaciones no merman la capacidad estructural de las estructuras y por otro lado aquellas cuya presencia afecta la estabilidad y ha causado colapsos inclusive.

Lamentablemente muchas de estas causas son evitables, son de origen humano, las huacas han sido vandalizadas durante siglos y en pleno siglo XXI a pesar de las protecciones gubernamentales siguen estando en riesgo permanente de perderse.

Existen muchas otras patologías que se originan en los sismos, muy frecuentes y cuyos efectos se encuentran en todos los sitios visitados. La ausencia de lluvias en la costa peruana ha favorecido para que se conserven las estructuras de tierra sin embargo la alta humedad es un factor importante para la aparición de otras alteraciones.

5.2.1. Patologías no estructurales

5.2.1.1. Alteraciones en la superficie

Aspecto

Laminaciones y pulverizaciones en la superficie.

Factor de origen

Propiedades propias del material

Medioambiente

Mecanismo de la Patología

Los procesos cíclicos de humedecimiento y secado de las superficies de tierra ocasionan la debilitación de la capa superficial del muro que en combinación con los vientos y el paso del tiempo han causado que se erosione y desbaste el paramento. Aunque esta erosión es casi homogénea en toda la superficie, si se agudiza puede comprometer la sección transversal del muro, en especial si esta erosión se acentúa en la base que es una zona crítica donde la humedad puede aparecer por capilaridad.



Figura 71. Pulverización en la superficie. Fuente: Henry Torres.

5.2.1.2. Pintados y rayaduras

Aspecto

Muros vandalizados con pintura y rayado de las superficies.

Factor de origen

Humano

Mecanismo de la Patología

Este tipo de afectación es producto del abandono y de la falta de educación ciudadana de los visitantes que vandalizan los muros con pinturas o ejecutan rayaduras de mediana profundidad

sobre las superficies de tierra, estas alteraciones no son difíciles de intervenir, pero cuando se ejecutan sobre superficies con pintura mural afectan irreversiblemente los paramentos.



Figura 72. Grafitis y rayaduras en muros arqueológicos. Fuente: Henry Eduardo Torres.

5.2.1.3. COLONIZACIÓN BIOLÓGICA

Aspecto

Líquenes, algas, insectos que aparecen o anidan en las superficies de los muros.

Factor de origen

Biológico

Medioambiente

Mecanismo de la Patología

Esta patología es muy recurrente puesto que la tierra a pesar de su estado seco puede dar origen a colonizaciones de pequeños líquenes y en casos extremos brotes de plantas de mayor tamaño cuando las condiciones de humedad lo hacen propicia. En el caso de la ciudad de Lima la humedad media anual llega al 90% y ello facilita la presencia de estas alteraciones. En el caso de algunos insectos este tipo de afectación hace horadaciones en los muros, los daños se manifiestan en perforaciones de sección circular y pueden penetrar varios cm.



Figura 73. Colonización biológica en muros.

5.2.1.4. Intrusiones

Aspecto

Construcciones modernas que se han construyen sobre los edificios, cortándolos y alterándolos.

Factor de origen

Humano

Mecanismo de la patología

Se aprecian pequeñas criptas, depósitos y otras construcciones de ladrillo y cemento realizadas cortando la estructura original. Aparece como consecuencia del abandono y la falta de protección del patrimonio arqueológico.



Figura 74. Construcciones modernas ubicadas en la parte alta del sitio arqueológico. Fuente: Henry Eduardo Torres.

5.2.1.5. Humedecimiento

Aspecto

Manchas de humedecimiento en los muros que se elevan por uno o dos metros sobre el nivel del terreno.

Factor de origen

Humedad en el subsuelo

Mecanismo de la patología

Esta patología muestra los muros de tierra constantemente humedecidos, ello origina la pérdida de la cohesión de la mezcla de barro causando finalmente colapsos. Se originan debido a las filtraciones de canales de regadío sin revestimiento o la presencia del nivel freático cercano.



Figura 75. Muros fuertemente afectados por humedad, se observan diversos grados de afectación. Fuente: Henry Eduardo Torres.

5.2.1.6. Invasiones

Aspecto

Edificios y calles muy cerca de los sitios arqueológicos, los cuales han sido cortados hasta un área muy reducida.

Factor de origen

Humano

Mecanismo de la patología

Durante el proceso de urbanización de las ciudades, la falta de planificación y de una estricta normativa de protección del patrimonio sumado al desinterés de la población originan que varios monumentos arqueológicos sean destruidos total o parcialmente para poder edificar calles y edificios. En la ciudad de Lima es particularmente común encontrar muchos monumentos cortados o simplemente demolidos por empresas debido a la inacción de las autoridades.



Figura 76. Construcciones modernas ubicadas en los alrededores y muy cerca del sitio arqueológico. Fuente: Henry Eduardo Torres.

5.2.2. Patologías estructurales

5.2.2.1. Grietas

Aspecto

Abertura que se observa alargada y que crea una separación entre los bordes o fragmentos del muro.

Factor de origen

Sismos

Mecanismo de la patología

La grieta se forma debido al sobre esfuerzo a que es sometido el muro por lo general las grietas son verticales o diagonales. El barro tiene poca resistencia a la deformación y cuando es sometido a fuerzas de flexión o tracción se agrieta rápidamente, por ello las grietas se producen por desplazamientos debido a fuerzas sísmicas o por asentamientos del suelo debido entre otras causas a desplazamiento o desmoronamiento de rellenos constructivos sobre los que estuvieron construidos los muros.



Figura 77. Muro agrietado encontrado luego de las excavaciones.

5.2.2.2. Cortes

Aspecto

Corte en el muro ocasionado por herramienta punzante.

Factor de origen

Humano

Mecanismo de la Patología

Los cortes y forados son realizados con herramientas de corte por tanto se aprecian las huellas de la herramienta y el daño profundo en zonas donde no se llegó a cortar completamente el muro.



Figura 78. Muro cortado con herramienta metálica. Fuente: Henry Torres.

5.2.2.3. Perforaciones

Aspecto

Perforación severa en el muro que alcanza en algunos casos el ancho total del muro.

Factor de origen

Biológico / Humano

Mecanismo de la patología

Este tipo de afectación hace horadaciones y es realizada por lo general por aves que anidan en los muros, tienen forma circular y pueden penetrar profundamente en la estructura comprometiendo su estabilidad. Existen otras perforaciones de obra humana, pero son de menor diámetro y no tan profundas. Las menos dañinas son las realizadas por insectos y que son colonizadas posteriormente por otros, estos daños sin embargo son superficiales.



Figura 79. Perforación severa en un muro de tierra modelada. Fuente: Henry Eduardo Torres.

5.2.2.4. Pérdida de volumen estructural

Aspecto

Cortes y erosión tanto en la base como en el paramento, en grado severo.

Factor de origen

Medioambiental/ Humano

Mecanismo de la Patología

Debido a la erosión producto de los vientos y la humedad o bien a cortes producidos por las ocupaciones modernas el volumen de algunos muros se ha visto afectado, por cortes que han alterado completamente la dimensión y en otros casos la forma original y han comprometido seriamente la estabilidad al debilitar la base de la estructura y/o con la disminución del ancho efectivo del muro.



Figura 80. Muro seriamente afectado por cortes con pérdida de volumen estructural.

5.2.2.5. DESPLAZAMIENTO LATERAL

Aspecto

Muro desplazado del emplazamiento original que tenía, se puede apreciar la impronta o partes de la base todavía el lugar inicial.

Factor de origen

Sismo

Mecanismo de la Patología

El desplazamiento lateral se origina debido a los empujes de los rellenos o a las vibraciones sísmicas que desplazan los muros cuando se ejercen fuerzas perpendiculares a su plano y no tienen la rigidez suficiente para soportar estas fuerzas.



Figura 81. Muro arqueológico desplazado lateralmente debido a un sismo de gran magnitud. Fuente: Henry Torres.

5.2.2.6. ESTRUCTURA FRAGMENTADA

Aspecto

Se aprecia la rotura de un bloque grande de muro en varias partes pero que aún conservan la ubicación original o no se han desplazado demasiado de ella.

Factor de origen

Sismo.

Mecanismo de la patología

Las estructuras de tierra debido a la rigidez y poca capacidad de deformación se agrietan y fragmentan rápidamente cuando se desplazan lateralmente debido a fuerzas sísmicas, muchas veces debido a que se encuentran rodeadas de rellenos o escombros los fragmentos se mantienen sin colapsar y es posible conservarlos.



Figura 82. Muro arqueológico encontrado fragmentado luego de las excavaciones.

5.2.2.7. COLAPSO DE ESTRUCTURAS

Aspecto

Pérdida casi irreparable de muros, generalmente perdidos o ubicados lejos del emplazamiento original.

Factor de origen

Sismos/ Humano

Mecanismo de la Patología

Cuando la ubicación lo permite una estructura agrietada puede colapsar y sus partes derrumbarse y perderse.



Figura 83. Pérdida parcial de muro por colapso.

5.2.2.8. EROSION SEVERA EN LA BASE, EN LA SUPERFICIE O CABECERA

Aspecto

Pérdida de volumen y forma original del muro.

Factor de origen

Medioambiental

Mecanismo de la patología

La base del muro se socava por la velocidad de los vientos que arrastrando partículas lesionan la superficie de los muros, esta erosión disminuye el ancho efectivo de la estructura y en casos muy severos causar el colapso de los muros.



Figura 84. Muros con erosiones a nivel de la base y en la cabecera.

5.2.2.9. ASENTAMIENTO DIFERENCIAL

Aspecto

Desplazamiento vertical de los muros

Factor de origen

Sismos/suelos de poca capacidad de carga

Mecanismo de la Patología

Una causa inmediata es la pérdida de la capacidad de carga del terreno que sirve de base a los muros. Esta pérdida ocasiona un asentamiento o desplazamiento vertical de la estructura que posteriormente deviene en un agrietamiento generalizado.



Figura 85. Asentamiento muro por pérdida de soporte de los rellenos constructivos. Fuente: Henry Eduardo Torres.

5.2.2.10. INTERVENCIONES INADECUADAS

Aspecto

Rastros de trabajos de conservación que no consideran aspectos de la técnica constructiva original.

Factor de origen

Humano.

Mecanismo de la patología

Se observan restituciones de mortero en los segmentos de muros que han sido intervenidos sin hacer una diferenciación entre las grietas y las juntas entre segmentos de muros. Esta patología sería evitable si se realizarán estudios previos para determinar las características más importantes de la técnica constructiva intervenida. En muchos casos los trabajos de conservación inadecuadas pueden desencadenar en nuevos mecanismos de degradación en el edificio. (Gomez-Patrocínio, et al., s.f.)



Figura 86. Muro intervenido con restituciones de mortero en grietas y probablemente en juntas entre muros segmentados. Fuente: Henry Eduardo Torres.

5.3. Intervenciones para la conservación

5.3.1. Conservación preventiva

La conservación preventiva en estructuras arqueológicas tiene como condición elemental anticiparse a las patologías, que no pueden evitarse completamente, pero que, sin embargo, es posible aminorar las alteraciones para evitar que su estado se vuelva crítico y comprometa inclusive la estabilidad del edificio o elemento arquitectónico.

Generalmente la intervención más significativa es la colocación de coberturas, sean estas temporales o definitivas. Tienen como objetivo aislar parcial o totalmente a la arquitectura de la humedad, los vientos y otros factores medioambientales que pueden afectar su materialidad.

Estas coberturas pueden realizarse en materiales naturales como la madera o el bambú o con elementos de mayor costo como acero y fibras sintéticas.



Figura 87. Cobertura permanente construida con bambú. Fuente: Henry Eduardo Torres Proyecto El Paraíso

5.3.2. Consolidaciones estructurales

Los expedientes técnicos contienen una serie de procedimientos y técnicas de conservación que permiten realizar la conservación salvaguardando la integridad del personal y de la propia arquitectura. Estos procedimientos han ayudado en la conservación arquitectónica con resultados muy interesantes.

- a. Apuntalamientos preventivos
- b. Restitución de muros

- c. Calzaduras de muros
- d. Inyecciones de barro líquido en grietas
- e. Anastilosis de fragmentos de muros

a. Apuntalamientos preventivos

Los apuntalamientos son medidas de conservación preventiva para evitar el colapso de estructuras salvaguardando la seguridad de la arquitectura y de los trabajadores. Este procedimiento tiene metodologías bien definidas pues se debe tener en cuenta el peso de la estructura por calzar considerando el peso específico y volumen para poder determinar el peso que deberá soportar las piezas del sistema de apuntalamiento. En segundo lugar, es importante considerar la ubicación y situación del elemento, es decir si se encuentra en suelo firme, en una pendiente o si se encuentra inclinado o en riesgo inminente de caída. Otro factor que debe considerarse el estado de conservación en que se encuentra, si se encuentra fracturado o intacto. Finalmente es necesario tener en cuenta la existencia de puntos de apoyo a partir de donde se colocarán los puntales para garantizar un buen arriostamiento y poder estabilizar convenientemente la estructura.



Figura 88. Apuntalamiento con todas las partes correctas, puntales, tensores y estacas de madera. Fuente: Henry Eduardo Torres Proyecto Huaca Bellavista.

b. Restitución de muros

La restitución de muros se ejecuta para darle mayor rigidez a un elemento debilitado por la baja cohesión del suelo sobre el que fue construido y cuya estabilidad se pueden ver afectada por el desmoronamiento del suelo o relleno de apoyo. En los sitios arqueológicos se encuentran una significativa cantidad de rellenos constructivos inestables y que deben ser reforzados para poder soportar las cargas que ejercen los muros sobre ellos.

Mediante bloques segmentados. - Es usado cuando se quiere evitar el empuje del relleno constructivo sobre un muro, está conformada por bloques de adobes asentados con barro, los cuales se van colocando con una inclinación hacia dentro del relleno para disminuir la posibilidad de volteo y evitando el desmoronamiento del relleno suelto anulando con ello la posibilidad de sobrecargas sobre el paramento interno del muro que lo cubre. La segmentación se realiza cada 1.50 m con el fin de evitar agrietamientos por diversas causas.



Figura 89. Vista de un bloque de reintegración en proceso de construcción. Fuente: Henry Eduardo Torres Proyecto Huaca Bellavista.

c. Calzadura de muros

Mediante reemplazo de relleno inestable. Una forma de calzadura es el reemplazo de un relleno inestable ubicado debajo de un muro y que debe ser cambiado por una estructura que pueda soportar mejor las cargas. El cambio se ejecuta cuando el relleno se encuentra en estado suelto y la posibilidad de socavación por acción del viento o por la baja cohesión lo hacen posible. El trabajo se ejecuta en forma progresiva reemplazando el relleno por segmentos de muros de adobe asentados con barro. Este reemplazo se hace en forma delicada y a distancias cortas, anulando con ello la posibilidad de asentamiento de la estructura que se está reforzando.



Figura 90. Calzadura debajo del muro M-10 con la colocación de bloques de mampostería de adobes colocados progresivamente. Fuente: Henry Eduardo Torres Proyecto Huaca Bellavista.

d. Inyecciones de barro líquido en grietas

Las reparaciones de grietas originadas por sismo deben realizarse siguiendo los procedimientos establecidos en la bibliografía y experiencias previas que existen al respecto. Teniendo especial cuidado en la granulometría de la mezcla, la cantidad de agua y la limpieza de la zona de aplicación. Es una forma efectiva de relleno de los espacios vacíos dejados por las grietas pues el fluido puede ocupar mayores áreas internas de la estructura que un mortero en estado plástico. Una limitación natural a esta técnica es que no repone al 100% la capacidad mecánica del muro intervenido, para una mejor recuperación es necesario una combinación de otros procedimientos adicionales como calzaduras.

e. Anastilosis de bloques

La anastilosis de bloques de muro se realiza en muros cuyos fragmentos permanecen colapsados o desfasados de su posición original, este trabajo consistió en reintegrar estos bloques en su lugar donde en algunos casos se mantenían sus bases todavía. Este trabajo que es muy delicado se realiza con el objetivo de mantener la integridad del edificio siguiendo las normativas internacionales de conservación y también debido a que la condición que tenían ponía en riesgo otros sectores del edificio.

Se hace empleando gatas hidráulicas, tablas y palos, todos materiales de fácil abastecimiento. En el caso del ejemplo, el trabajo de anastilosis se dio inicio con el apuntalamiento general de

todas las estructuras en riesgo de colapso. Se elevaron en total 8 bloques de diverso tamaño siendo el de mayor peso el bloque 2 con 4 toneladas.

Se emplearon varios detalles. El relleno sobre el cual se había construido el muro era un relleno inestable y que no resistiría el peso del bloque lo cual ocasionaría que el bloque se hundiera. Por ello fue necesario colocar un piso de cantos rodados planos de 15 cm de diámetro asegurados con mortero de barro constituyéndose en una base mucho más rígida y que permitiría además la colocación del bloque en su posición final.

Para la colocación del bloque en el emplazamiento original desde la zona donde se encontraba colapsado se colocaron unos "rieles" de madera que disminuían el rozamiento entre el bloque y la base facilitando su desplazamiento.



Figura 91. Proceso de reintegración de bloques. Fuente: Henry Eduardo Torres Proyecto Huaca Bellavista.



Figura 92. Proceso de conservación en tres fases, estado inicial, limpieza y proceso de conservación. Fuente: Henry Eduardo Torres Proyecto Huaca Bellavista.

5.4. Propuesta de conservación de los muros de tierra modelada en contextos arqueológicos

Después de haber analizado las características más importantes de esta tradición constructiva del Perú antiguo y los procesos patológicos que las afectan, se proponen algunos lineamientos básicos para poder conservarlos adecuadamente.

Se han hecho esfuerzos académicos por comprender las características de los morteros con que fueron construidos los muros de tierra modelada (Vargas, et al., 2015), donde se comprobó que la resistencia de los morteros arqueológicos era muy inferior a la que tienen los adobes, materiales usualmente usados en los trabajos de conservación arqueológica. Ello derivó en la propuesta de no emplear este tipo de mampostería para restituir las masas de muro perdidas en las construcciones con tierra modelada:

Por sus diferencias de rigidez y resistencia, vibrarán con distintas frecuencias fundamentales, se golpearán entre sí y se dañará o colapsará el de menor resistencia, que hoy sabemos que claramente es el original y patrimonial (Vargas, et al., 2015, p. 12).

En los trabajos de conservación realizados, se han empleado mampostería de adobes, que fue cubierta por un revoque que le daba la apariencia de un bloque monolítico al tramo conservado. Los argumentos que se tenían para el empleo de estos procedimientos se originan en la falta de estudios previos que hayan determinado en forma adecuada las características físicas de los muros arqueológicos. Además, existe un erróneo concepto de la técnica constructiva, ya que en artículos académicos y en los expedientes técnicos siempre se denominó tapia a la técnica precolombina, por lo que había consenso en que si se empleaba la técnica original, esto implicaría el uso de pisones y la aplicación de golpes para el apisonado del barro sería inconveniente debido al delicado estado de las estructuras arqueológicas contiguas, generalmente agrietadas y en riesgo de colapso.

Adicionalmente otro argumento que se ha podido recoger era el supuesto bajo contenido de humedad que tienen las restituciones con mampostería de adobes y otras técnicas respecto de colocar el barro fresco en capas siguiendo la técnica original para restituciones sobre el muro arqueológico.

Como se ha planteado, la técnica constructiva precolombina consistió en la “colocación” de capas de barro, con una ligera compresión manual. No emplearon pisones, no porque no se hayan encontrado los artefactos para realizar estas tareas, sino porque la textura del barro arqueológico demuestra que no fue posible la compactación por la cantidad de agua en la

mezcla al momento de la colocación. La textura era de un barro con la suficiente agua que permitió su amasado pero en la medida que no hubiese necesidad de emplear moldes para evitar que se derrame. Así lo demuestran las observaciones realizadas en los sitios arqueológicos visitados.

Estos muros no fundamentaban la estabilidad en la resistencia de los morteros, sino en otras estrategias, como la geometría de los muros o el equilibrio de las fuerzas entre los segmentos de muros.

Por tanto, concebir teóricamente un mortero similar al arqueológico es correcto. Sin embargo, es necesario desarrollar complementariamente otras actuaciones que colaboren en la estabilidad de estas estructuras.

Como se ha propuesto en este trabajo, las estructuras de tierra modelada empleaban una serie de adosamientos y elementos que se trababan en esfuerzos de compresión. Por tanto, las restituciones de tramos de muros deben garantizar que los nuevos elementos añadidos restituyan también esta función estructural.

Las complejas estructuras de muros eran un sistema donde cada parte era importante para la estabilidad del conjunto. Por tanto, las restituciones tienen que realizarse evaluando en forma global la estructura a intervenir. Si se intervienen ciertos sectores sin este criterio, se corre el riesgo de romper el estado de equilibrio que adquirió la estructura, luego de siglos de sismos.

Cuando se libera arquitectura arqueológica y se restituyen partes perdidas o colapsadas, se debe tener presente que se le están cambiando las condiciones de equilibrio encontradas y por tanto es necesario una evaluación del conjunto previo a estos trabajos de restitución con el objetivo de no exponer la edificación a nuevos riesgos.

Se plantea que, en estas estructuras ubicadas en zonas sísmicas, las partes restituidas deberían ser las que sean las afectadas en primer lugar evitándose con ello el daño en las estructuras arqueológicas. Para ello se puede traer como referencia la analogía de la cadena dúctil:

El comportamiento de un sistema estructural puede representarse mediante una cadena. Toda cadena se rompe por el eslabón más débil. Pero si ese eslabón más débil es diseñado expresamente para que antes de romperse se comporte como si fuera dúctil, entonces toda la cadena se comportará como dúctil (Piqué, 2004, p. 2).

Se sabe que las construcciones de tierra no pueden comportarse como dúctiles, pero, cuando se hacen intervenciones en zonas sísmicas, es necesario meditar y evaluar los materiales empleados y la forma como se disponen para que las intervenciones no sean tan rígidas que trasladen los

esfuerzos a otras zonas más vulnerables de la edificación patrimonial en caso de eventos extremos.

Las contribuciones académicas pueden dar algunos valores de resistencia de los morteros arqueológicos analizados en laboratorio y por especialistas calificados. Sin embargo, es importante tener presente que, debido a la manufactura manual de todas estas obras, la generalización de los valores de la resistencia mecánica de los morteros no sería conveniente.

Es necesario estudios previos específicos para cada caso de tal forma que la compatibilidad sea óptima y que las restituciones se conviertan en un complemento estructural y contribuyan a la estabilidad y conservación del conjunto.

El respecto estricto de la técnica constructiva original considera que no se deben rellenar las juntas de los segmentos de muros, confundiéndolas con grietas. Es probable que actualmente en algunos casos las juntas no cumplan con la función original de transmitir los esfuerzos entre los paños de muros, en cuyo caso es indispensable que se evalúe estructuralmente la condición de estabilidad de todo el conjunto y no se hagan intervenciones aisladas que rigidicen y concentren esfuerzos en zonas puntuales de la edificación.

En conclusión, la propuesta de conservación es la siguiente:

Realizar estudios previos.

Realizar los estudios de laboratorio como granulométricos, límites de consistencia, compresión simple, etc. que permitan tener una base sólida para la identificación de los materiales originales.

Respetar la técnica constructiva original.

Verificar la forma y tamaño de los paños o segmentos, definir las juntas y diferenciarlas de las grietas para que la intervención aporte a la integridad del edificio intervenido.

Evaluar el conjunto arquitectónico que se está interviniendo.

Evitar intervenciones significativas en zonas puntuales, evaluando el elemento estructural en forma global para una mejor comprensión del edificio.

6. CONCLUSIONES

Los aportes científicos de las antiguas civilizaciones americanas en muchos casos han sido restringidos a curiosidades y a explicaciones sobrenaturales. No obstante, con el paso de las investigaciones se hace evidente que las aportaciones son evidentes y en algunos casos complejas para lograr comprenderlas.

Sin duda, los terremotos son fenómenos que han condicionado el desarrollo de la arquitectura debido a la recurrencia y severidad en una de la región con intensa actividad sísmica. Se ha demostrado que, en forma racional, determinística y simple, intentaron resolver la estabilidad de sus edificaciones, aunque es claro que falta mucho por investigar al respecto.

Desde tiempos iniciales en que se formaron los primeros asentamientos precolombinos en la costa y sierra peruana, poco después del final de la última glaciación, tempranamente se demuestra la capacidad para encontrar soluciones inteligentes y creativas a problemas o retos que se les presentaron. Ello se manifestó en notables avances como el planteado en la presente investigación.

Por lo general, el análisis arquitectónico de las obras del Perú antiguo se ha concentrado en determinar la función del edificio o a cuestiones antropológicas como la organización de la fuerza de trabajo necesaria para la obra, mientras que no se profundizó de igual forma en los aspectos técnicos constructivos.

Corresponde a la disciplina arqueológica determinar la cronología de estas técnicas constructivas para que las tradiciones arquitectónicas como la que se presenta en esta investigación sirvan como indicadores de investigación del pasado, sumándose al empleo de la cerámica, contextos funerarios, entre otros.

A los grandes exponentes arquitectónicos de la mampostería inca y las obras megalíticas del altiplano (Sacsayhuaman, Puma punku, Tiahuanaco), se suman recientemente la tecnología constructiva de la costa central que se ha convertido en un yacimiento de conocimientos acerca de sismo-resistencia de tiempos precolombinos.

Una característica importante que destacar es el uso de la "megamampostería", que consiste en la formación de un muro, con la colocación sucesiva de partes, fracciones o bloques que se fabricaban in situ y que se trababan entre ellos a través de juntas diagonales y rectas. El armado del muro se hacía siguiendo un orden que aseguraba la estabilidad de las partes del muro como si se tratara de un gran rompecabezas. El orden de colocación de los bloques se puede predecir

debido a la superposición de estos siguiendo un modelo de armado que aprovecha la geometría de las partes para garantizar una adecuada trabazón entre los *megamampuestos*. Esta técnica se ha podido identificar en muros Yschma contruidos también con adobe. Por tanto, es de uso "tradicional", esta *megamampostería* debe el nombre a la forma en que se colocan y traban los megalitos usados en los muros incas, con el que se sugiere guardan ciertas similitudes.

La forma y proporciones de estos muros han sido concebidos de una forma totalmente diferente a como se entiende la ingeniería actual, al contrario de lo que sucede en el presente donde el material se elige de acuerdo con el diseño de un objeto. En este caso se está presenciando la construcción de un edificio realizándolo completamente de acuerdo con las condiciones que dicta el material, de acuerdo con las reales posibilidades y a una escala o proporciones que son necesarias para la permanencia de las obras de tierra, de acuerdo con la propia naturaleza de tal forma que pueda cumplir los requerimientos de estabilidad necesarios. Es una forma original, racional y natural de encontrar una solución a los problemas de sismo-resistencia realizado por los antiguos peruanos y que espero se pueda recuperar en un futuro no muy lejano.

Las recientes investigaciones muestran que la ruta hacia el conocimiento y comprensión de los aspectos técnicos y constructivos de la arquitectura en los Andes es un camino largo, del cual apenas recién se está empezando a recorrer sus primeros tramos.

7. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Agüero, J., Cerón, J., González, J. & Méndez, M., 2015. *Análisis estructural de dos muros de adobe con diferente sistema de aparejo*. Cuenca Ecuador, s.n.
- Agurto, S., 1983. Los grandes murallones del Chillón. *El Ingeniero Civil*, pp. 42-46.
- Agurto, S., 1984. *Lima Prehispánica*. Lima : Municipalidad de Lima Metropolitana.
- Canziani, J., 2012. *Ciudad y Territorio en los andes Contribuciones a la historia del urbanismo prehispánico*. Lima: Fondo Editorial PUCP.
- Carazas, W., 2017. *Test Carazas Manual pedagógico*. s.l.:A+terre.
- Chalon, P. F., 1882. *El arte de construir de los antiguos peruanos*. Lima: J. Galland y E. Henriod.
- Correia, M., Guerrero, L. & Crosby, A., 2015. Technical Strategies for Conservation of Earthen Archaeological Architecture, Conservation and Management of Archaeological Sites. 17(3), pp. 224-256.
- 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.
- Fukuyama, H. y otros, 2016. Research on Earthquake response reduction properties and its repeatability of the foundation technology used in the sanctuaries dating up to 5000 years ago. *Journal of Japan for Earthquake Engineering*, pp. 11-25.
- Gasparini, G. & Margolies, L., 1977. *Arquitectura Inka*. Caracas: Universidad Central de Venezuela.
- Gomez-Patrocínio, F. J., Mileto, C., Vegas López-Manzanares, F. & Garcia Soriano, L., s.f. <https://www.researchgate.net>. [En línea] Available at: https://www.researchgate.net/publication/326422397_Procesos_patologicos_en_muros_de_adobe_Panorama_general_de_los_mecanismos_de_degradacion_del_adobe_en_la_arquitectura_tradicional_espanola [Último acceso: 25 julio 2021].
- Guerrero, L. F., 2018. Identificación y valoración del patrimonio precolombino construido con tierra modelada. *Anales del Instituto de Arte Americano e Investigaciones Estéticas "Mario J. Buschiazso"*, pp. 125-141.
- Harth-Terre, E., 1965. Nueva aurora de la Ciudad de Chan Chan. *El Arquitecto Peruano*, pp. 33-40.
- Hart-Terre, E., 1976. *Formas estéticas ensayos y lecturas*. Lima: Mejía Baca.
- Herrera, A., Amaya, A. & Aguilar, M., 2011. Una aproximación tipológica y funcional a la arquitectura indígena. En: *Arquitectura prehispánica tardía: construcción y poder en los andes centrales*. Lima: Universidad Católica Sedes Sarpientiae, pp. 171-225.

- Huerta, S., 2004. *Arcos, bóvedas y cúpulas Geometría y equilibrio en el cálculo tradicional de estructuras de fábrica*. Madrid: Instituto Juan de Herrera.
- Huerta, S., 2017. *Curso Magistral Mecánica de las Estructuras Históricas Facultad de Arquitectura UNAM*. [En línea] Available at: https://www.youtube.com/watch?v=Q_VBBmmmAtk&t=5703s
- Middendorf, E. W., 1973. *Peru Observaciones y estudios del país y sus habitantes durante una permanencia de 25 años*. Lima: Universidad Nacional Mayor de San Marcos.
- Moseley, M., 1978. Principios de organización laboral prehispánica en el valle de Moche. En: *Tecnología Andina*. Lima: IEP - ININVI, pp. 591-599.
- Muelle, J., 1978. Tecnología del barro en el Perú precolombino. En: *Tecnología Andina*. Lima: Instituto de Estudios Peruanos, pp. 573-579.
- Paulay, T., 1995. *Confianza con simplicidad en el diseño sismorresistente*. s.l.:s.n.
- Piqué, J., 2004. Diseño por Capacidad: Una estrategia Neozelandesa de Diseño Sismorresistente. *Revista "El Ingeniero Civil"*.
- Protzen, J.-P., 2014. *Arquitectura y construcción inkas en Ollantaytambo*. Lima: PUCP.
- Pulgar Vidal, J., 2014. *Las ocho regiones naturales del Perú*. Sao Paulo: Universidade de São Paulo, Rede Brasileira de História da Geografia.
- Ramón Joffré, G., 1994. Periodificación en Arqueología Peruana. *Revista Investigaciones CEAR*, pp. 42-70.
- Ravines, R., 1978. *Tecnología Andina*. Lima: IEP-ININVI.
- Reindel, M., 1997. Aproximación a la arquitectura monumental de adobe en la costa norte del Perú. En: *Archaeologica Peruana 2*. Lima: Sociedad Arqueológica Peruano Alemana, 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.
- Shimada, I., 1997. Organizational Significance of Marked Bricks and Associated Construction features on the North Peruvian Coast. En: *Archaeologica Peruana 2. Arquitectura y Civilización en los Andes Prehispanicos*. Heidelberg: Sociedad Arqueológica Peruano Alemana, pp. 62-90.
- Squier, G., 1974. *Un viaje por tierras Incaicas*. Lima: Universidad Nacional Mayor de San Marcos.
- Vargas Neumann, J., Iwaki, C. & Rubiños, A., 2012. *Sismo Resistencia en las Entrañas de Caral*. Lima, Terra 2012.

Vargas, J., Gil, S., Jonnard, F. & Montoya, J., 2015. *Camino Prehipánico Pando*. Cuenca Ecuador, Proyecto vIirCPM "Manejo y Preservación de la Ciudad Patrimonio Mundial" Facultad de Arquitectura y Urbanismo de la Universidad de Cuenca. Red Iberoamericana PROTERRA.

Vargas, J. & Soto, M., 2015. Arquitectura prehispánica limeña de los siglos XI al XV: El caso de la conservación de la Pirámide A de Matero Salado.. *Devenir*, pp. 22-44.

Villar Córdoba, P., 1935. *Culturas Pre-hispánicas del Departamento de Lima*. Lima: Municipalidad de Lima.

8. INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Huaca Tres Palos ubicado en el complejo Maranga Lima. Fuente: Henry Eduardo Torres. ___	5
Figura 2. Comparación entre un adobe y un fragmento de muro de tierra modelada, donde se aprecia la diferencia entre un barro compactado y la textura sin compactar, en la otra vista se aprecia lo recto del paramento. Fuente: Henry Eduardo Torres. _____	6
Figura 3. Ubicación de La zona de estudio. _____	7
Figura 4. Izquierda: "Murallas de la ciudadela de Huadca" (Middendorf, 1973). Derecha: "Demolición de una Huaca. Limatambo". Fuente: (Squier, 1974). _____	10
Figura 5. Detalles técnicos de la construcción de la muralla del Chillón. Fuente: Lima Prehispánica de Santiago Agurto. _____	12
Figura 6. Alrededores de una Huaca cerca a Lima a inicios del siglo XX. Fuente: Colección Max Uhle. _____	13
Figura 7. Huaca Mangamarca a inicios del siglo XX. Fuente: Colección Max Uhle _____	16
Figura 8. Vista de la Huaca desde suroeste. Se observan bloques constructivos y un contrafuerte en buen estado de conservación. Las uniones de los bloques se han acentuado producto de los sismos y algunos desprendimientos son los daños más visibles en la fachada. Fuente: Henry Eduardo Torres. _____	17
Figura 9. Vista de un muro, los bloques constructivos tienen juntas verticales y los bloques superiores se traban con los inferiores, en general en buen estado de conservación. Las uniones de los bloques se han acentuado producto de los sismos y se observan algunas grietas. Fuente: Henry Eduardo Torres. ___	18
Figura 10. Muro conservado, se observan restituciones de mortero probablemente en grietas y juntas indistintamente. Fuente: Henry Eduardo Torres. _____	18
Figura 11. Vista de un muro con un tramo muy agrietado. Las juntas verticales no trababan adecuadamente los bloques y por tanto permitía un mayor desplazamiento entre ellos. Fuente: Henry Eduardo Torres. _____	19
Figura 12. Vista general del sitio arqueológico Tambo Inga. Fuente: Henry Eduardo Torres. _____	20
Figura 13. Muros construidos en terreno en pendiente formando por bloques independientes que se adosan en planos inclinados. Fuente: Henry Eduardo Torres. _____	20
Figura 14. Detalle constructivo de los muros construidos en superficies inclinadas, se aprecian los momentos constructivos y las juntas que van de la base a la cabecera del muro. Fuente: Henry Eduardo Torres. _____	21
Figura 15. Vista del edificio principal del complejo arqueológico. Fuente: Henry Eduardo Torres. ___	21
Figura 16. Izquierda: Detalle constructivo de los muros construidos en forma escalonada y apoyados entre sí, probablemente se han construido sobre un afloramiento rocoso. Derecha: Detalle de un bloque ordenador ubicado en la parte superior de la construcción. Fuente: Henry Eduardo Torres. _____	22
Figura 17. Vista de la fachada, se pueden apreciar bloques ordenadores y adosamientos que guardan una estricta alineación desde la base a la parte alta del edificio, probablemente se han construido sobre un afloramiento rocoso. Derecha: Detalle de las intervenciones de conservación con las juntas de los bloques rellenas de mortero. Fuente: Henry Eduardo Torres. _____	22
Figura 18. Vista del complejo arqueológico. Fuente: Henry Eduardo Torres. _____	23
Figura 19. Muro formado por varios bloques unidos por una compleja mampostería de varios eventos constructivos. Fuente: Henry Eduardo Torres. _____	23
Figura 20. Vista de un muro muy afectado, esta vista permite analizar el fenómeno de colapso de este tipo de muros. Fuente: Henry Eduardo Torres. _____	24
Figura 21. Muros de grandes dimensiones formados por adosamientos sucesivos de bloques, los muros tienen más de 6 m de altura, se aprecian claramente las capas de barro de la técnica constructiva. Fuente: Henry Eduardo Torres. _____	24
Figura 22. Vista del complejo arqueológico. Fuente: Henry Eduardo Torres. _____	25
Figura 23. Muros formados por una sucesión de bloques ordenadores y bloques de ajuste o claves, los muros tienen al menos 3 m de alto. Fuente: Henry Eduardo Torres. _____	25
Figura 24. Muros formados por una sucesión de bloques ordenadores y bloques de ajuste o claves. Se observa la compleja mampostería en contraste con otras técnicas encontradas en otros sitios arqueológicos. Fuente: Henry Eduardo Torres. _____	26
Figura 25. Vista general de un tramo de la muralla. Fuente: Henry Eduardo Torres. _____	26

Figura 26. Vista en elevación de la muralla donde pueden observarse los bloques ordenadores y los muros de relleno entre ellos. Fuente: Henry Eduardo Torres	27
Figura 27. Vista de parte de la sección del muro que quedo expuesta debido al colapso parcial del segmento adyacente. Derecha: Vista en detalle de la adición de bloques a partir de un bloque ordenador. Fuente: Henry Eduardo Torres	27
Figura 28. Vista general del sitio arqueológico. Fuente: Henry Eduardo Torres.	28
Figura 29. Detalle de armado de los muros con bloques que se adosan con juntas inclinadas. Fuente: Henry Eduardo Torres.	28
Figura 30. Detalle de un espacio amurallado empleando muros de tierra modelada, se aprecian los segmentos de muros independientes y una fuerte inclinación. A la derecha detalle de las juntas entre bloques. Fuente: Henry Eduardo Torres.	29
Figura 31. Izquierda: Adobes del periodo precerámico 2500 años A.C. Derecha: Muro con adobes de ese tipo siendo conservado. Fuente: Henry Eduardo Torres.	33
Figura 32.: Adobes fabricados sin molde del periodo Lima 200 D.C. y la mampostería que conforma.	33
Figura 33: Adobe fabricado con molde y la mampostería que conforma en hiladas horizontales. Santuario arqueológico de Pachacamac. Fuente: Henry Eduardo Torres	33
Figura 34. Izquierda (a), restos de un muro elaborado con adobes modelados a mano y asentados en hiladas horizontales sin junta vertical. Derecha (b): Restos de muros elaborados con porciones de barro asentados en forma similar a los adobes. Sitio arqueológico del Complejo Maranga. Fuente: Henry Eduardo Torres.	34
Figura 35. Capas de barro formando la estructura del muro que se pueden apreciar debido a un colapso, imágenes del sitio arqueológico Fortaleza de Campoy. Fuente: Henry Eduardo Torres.	35
Figura 36: Izquierda, textura interior de un muro de tierra modelada sin el acabado final. Fuente: Henry Eduardo Torres. Derecha: Imagen guía del test Carazas para muestras de tierra en estado plástico solamente vertidas en el molde sin compactación alguna.	36
Figura 37. Aspecto del acabado del paramento de un muro de tierra modelada sin el acabado final. Fuente: Henry Eduardo Torres. Derecha: Detalle del paramento donde se aprecian las huellas dactilares de los constructores. Fuente: Henry Eduardo Torres.	37
Figura 38. Muro de tierra modelada que muestra claramente las capas de barro con que fue conformada, se aprecia además la forma cóncava que toman producto de la colocación sucesiva de estas. Izquierda: Interior de una junta entre bloques donde se aprecia las marcas de alisado de la superficie. Fuente: Henry Eduardo Torres. Sitios arqueológicos: Palacio de Oquendo y Tambo Inga.	38
Figura 39. Detalle del suelo de cimentación de un tramo de muro, se construyó directamente sobre el afloramiento rocoso. Fuente: Henry Eduardo Torres.	38
Figura 40. Detalle de muros con bloques ordenadores, es notable la similitud de las formas. Fuente: Henry Eduardo Torres.	39
Figura 41. Muros tipo 1. Fuente: Henry Eduardo Torres.	40
Figura 42. Muro Tipo 2: Huaca Tres Palos. Lima. Perú. Fuente: Henry Eduardo Torres.	41
Figura 43. Muro Tipo 3: Huaca Cerro Respiro. Lima. Perú. Fuente: Henry Eduardo Torres.	42
Figura 44. Muro Tipo 4. Fuente: Henry Eduardo Torres.	42
Figura 45. Esquema de los 4 tipos de muros propuestos. Fuente: Henry Eduardo Torres.	43
Figura 46. Muro con las 6 fases constructivas identificadas. Huaca Cerro Respiro. Lima. Perú. Fuente: Henry Eduardo Torres.	44
Figura 47. Gráfico esquemático del proceso de armado del muro que muestra la técnica de la mampostería. Huaca Cerro Respiro. Lima. Perú. Fuente: Henry Eduardo Torres.	46
Figura 48. Izquierda: Restos del enlucido color claro dentro de la esquina interior de un nicho. Derecha: Nicho cortado en el muro. Fuente: Henry Eduardo Torres.	47
Figura 49. Izquierda: Vanos de puertas según Squier (1974). Derecha: Vano de acceso en Huaca Palacio Oquendo. Fuente: Henry Eduardo Torres	48
Figura 50. Encuentro en esquina con los muros adosados. Fuente: Henry Eduardo Torres	49
Figura 51. Shicras o bolsas de relleno elaboradas con fibras vegetales para darle cohesión a los rellenos constructivos de los edificios en épocas precolombinas. Fuente: Henry Eduardo Torres	52
Figura 52. Segmentos verticales de adobes en la Pirámide del Sol. Fuente: (Shimada, 1997).	53

Figura 53. Restos de un segmento de muro del sitio Mateo salado. Fuente: Archivo Tello.	54
Figura 54. Semienterrado se observa un muro ordenador construido con adobes, tiene ambos lados inclinados a los que se la han adosado otros muros. Se aprecia el tipo de aparejo usado. Santuario arqueológico de Pachacamac. Fuente: Henry Eduardo Torres.	55
Figura 55. Vista de un muro con segmentos claramente establecidos. Fuente: Henry Eduardo Torres.	56
Figura 56. Bloque ordenador de gran tamaño, con más de 3 m de altura y al menos 4 m de ancho. Se aprecia el tipo de aparejo usado. Santuario arqueológico de Pachacamac. Fuente: Henry Eduardo Torres.	57
Figura 57. Izquierda: Vista en detalle de la junta entre segmentos de muros. Derecha: Segmentos cortos de un tramo de muro en buen estado de conservación. Santuario arqueológico de Pachacamac. Fuente: Henry Eduardo Torres.	57
Figura 58. Izquierda: Detalle de la junta entre bloques constructivos formados por adobes. Fuente: Henry Eduardo Torres. Derecha: propuesta de construcción de grandes muros de adobe según Harth Terre. Fuente: (Harth-Terre, 1965)	58
Figura 59. Bloque ordenador, con unos 5 m de altura. Se mantiene estable entre dos segmentos derrumbados. Huaca Tres Palos. Fuente: Henry Eduardo Torres.	59
Figura 60. Fuerzas que actúan sobre los muros cuando se construyeron segmentados, las fuerzas son debido al peso propio y al sismo. En el segundo caso los desplazamientos y colapsos ocurren en ciertas zonas no afectando la estructura en su totalidad. Fuente: Henry Eduardo Torres.	60
Figura 61. Secuencia de posibilidades en la construcción de los muros segmentados. A: Bloques contruidos simultáneamente. B, C y D: Construcción alternada. Fuente: Henry Eduardo Torres	61
Figura 62. 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: Henry Eduardo Torres.	63
Figura 63. Análisis estratigráfico de las fases constructivas de una parte de la muralla de Chuquitanta, se muestran los 3 grandes momentos constructivos. Las flechas señalan la ubicación de los muros que actúan como claves. Fuente: Henry Eduardo Torres.	64
Figura 64. 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: Henry Eduardo Torres.	65
Figura 65. Muro dentro del complejo arqueológico Huaca Centinela, planteamiento estratigráfico de la composición del muro. Fuente: Henry Eduardo Torres.	66
Figura 66. 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: Henry Eduardo Torres.	67
Figura 67. Esquema del arriostramiento longitudinal y transversal en los muros. Fuente: Henry Eduardo Torres.	69
Figura 68. Esquema de los factores que favorecen el arriostramiento transversal en los muros. Fuente: Henry Eduardo Torres.	70
Figura 69. Tramo de muro de tierra modelada, pertenece a un recinto que ha sido acondicionado como auditorio, la estructura ha sido conservada, se pueden apreciar las segmentaciones de forma trapezoidal perfectamente definidas desde la base a la parte superior. Fuente: Henry Eduardo Torres.	71
Figura 70. Bloques constructivos de tierra modelada en buen estado de conservación luego de 700 años. Huaca Maranga. Fuente: Henry Eduardo Torres.	73
Figura 71. Pulverización en la superficie. Fuente: Henry Torres.	74
Figura 72. Graftis y rayaduras en muros arqueológicos. Fuente: Henry Eduardo Torres.	75
Figura 73. Colonización biológica en muros.	75
Figura 74. Construcciones modernas ubicadas en la parte alta del sitio arqueológico. Fuente: Henry Eduardo Torres.	76
Figura 75. Muros fuertemente afectados por humedad, se observan diversos grados de afectación. Fuente: Henry Eduardo Torres.	77
Figura 76. Construcciones modernas ubicadas en los alrededores y muy cerca del sitio arqueológico. Fuente: Henry Eduardo Torres.	78
Figura 77. Muro agrietado encontrado luego de las excavaciones.	79

Figura 78. Muro cortado con herramienta metálica. Fuente: Henry Torres.	79
Figura 79. Perforación severa en un muro de tierra modelada. Fuente: Henry Eduardo Torres.	80
Figura 80. Muro seriamente afectado por cortes con pérdida de volumen estructural.	81
Figura 81. Muro arqueológico desplazado lateralmente debido a un sismo de gran magnitud. Fuente: Henry Torres.	82
Figura 82. Muro arqueológico encontrado fragmentado luego de las excavaciones.	82
Figura 83. Pérdida parcial de muro por colapso.	83
Figura 84. Muros con erosiones a nivel de la base y en la cabecera.	84
Figura 85. Asentamiento muro por pérdida de soporte de los rellenos constructivos. Fuente: Henry Eduardo Torres.	84
Figura 86. Muro intervenido con restituciones de mortero en grietas y probablemente en juntas entre muros segmentados. Fuente: Henry Eduardo Torres.	85
Figura 87. Cobertura permanente construida con bambú. Fuente: Henry Eduardo Torres	86
Figura 88. Apuntalamiento con todas las partes correctas, puntales, tensores y estacas de madera. Fuente: Henry Eduardo Torres.	87
Figura 89. Vista de un bloque de reintegración en proceso de construcción. Fuente: Henry Eduardo Torres.	88
Figura 90. Calzadura debajo del muro M-10 con la colocación de bloques de mampostería de adobes colocados progresivamente. Fuente: Henry Eduardo Torres.	89
Figura 91. Proceso de reintegración de bloques. Fuente: Henry Eduardo Torres.	90
Figura 92. Proceso de conservación en tres fases, estado inicial, limpieza y proceso de conservación. Fuente: Henry Eduardo Torres.	91