



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

Escuela Técnica Superior de Arquitectura

Arquitectura Hakka en China: análisis y conservación de
edificios contruidos con tierra apisonada

Trabajo Fin de Máster

Máster Universitario en Conservación del Patrimonio
Arquitectónico

AUTOR/A: Ye, Fan

Tutor/a: Mileto, Camilla

Cotutor/a: Vegas López-Manzanares, Fernando

Cotutor/a: García Soriano, Lidia

CURSO ACADÉMICO: 2024/2025



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA
Escuela Técnica Superior de Arquitectura

Arquitectura Hakka en China: análisis y
conservación de edificios contruidos con tierra
apisonada

Trabajo Fin de Máster

Máster Universitario en Conservación del Patrimonio

Arquitectónico

AUTOR: Fan YE

Tutora: Mileto, Camilla

Cotutor/a: Vegas López-Manzanares, Fernando
García Soriano, Lidia



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



MASTER OFICIAL EN
CONSERVACIÓN DEL
PATRIMONIO ARQ.

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

Máster Universitario en Conservación del
Patrimonio Arquitectónico
2024/2025. València

Trabajo Fin de Máster

Arquitectura Hakka en China: análisis y conservación de edificios contruidos con tierra apisonada



AUTOR: Fan YE

Tutora: Mileto, Camilla

Cotutor/a: Vegas López-Manzanares, Fernando
García Soriano, Lidia

Resumen:

Las técnicas y estilos arquitectónicos de los Hakka Tulou, que tienen su origen en la antigua arquitectura residencial china, se refleja tanto la adaptación al entorno como una profunda relación con la cultura local. Este trabajo se centra en la arquitectura de tierra apisonada Hakka, analizando su evolución histórica, las características constructivas y su relevancia cultural. A través de una revisión de la literatura existente, se identificarán los principales desafíos técnicos y estructurales asociados a estas edificaciones. De base de esto, este trabajo también explorará posibles soluciones de restauración y conservación, proponiendo estrategias para preservar estos edificios tradicionales frente a los riesgos contemporáneos, garantizando así este tesoro del patrimonio arquitectónico para futuras generaciones.

Palabras claves:

Arquitectura de tierra; Tierra apisonada; Hakka; China; Conservación y restauración

Abstract:

The architectural techniques and styles of Hakka Tulou, which have their origins in ancient Chinese residential architecture, reflect both adaptation to the environment and a deep relationship with the local culture. This paper focuses on Hakka rammed earth architecture, analysing its historical evolution, construction characteristics and cultural relevance. Through a review of the existing literature, the main technical and structural challenges associated with these buildings will be identified. Based on this, this paper will also explore possible restoration and conservation solutions, proposing strategies to preserve these traditional buildings against contemporary risks, thus ensuring this treasure of architectural heritage for future generations.

Keywords:

Earthen architecture; Rammed earth; Hakka; China; Conservation and restoration

Resum:

Les tècniques i estils arquitectònics dels Hakka Tulou, que tenen el seu origen en l'antiga arquitectura residencial xinesa, es reflecteix tant l'adaptació a l'entorn com una profunda relació amb la cultura local. Este treball se centra en l'arquitectura de terra piconada Hakka, analitzant la seua evolució històrica, les característiques constructives i la seua rellevància cultural. A través d'una revisió de la literatura existent, s'identificaran els principals desafiaments tècnics i estructurals associats a estes edificacions. De base d'això, este treball també explorarà possibles solucions de restauració i conservació, proposant estratègies per a preservar estos edificis tradicionals enfront dels riscos contemporanis, garantint així este tresor del patrimoni arquitectònic per a futures generacions.

Paraules claus:

Arquitectura de terra; terra piconada; Hakka; la Xina; Conservació i restauració

Indice

Resumen:	1
1. Explicación de nombres propios:	7
2. Introducción	15
3. Objetivo	17
4. Metodología	17
5. Historia de la arquitectura de <i>hakka Tulou</i>	18
6. Cultura y folclore hakka	20
6.1 Propósito de la construcción de Hakka <i>Tulou</i>	20
6.1.1 Defensa contra los enemigos exteriores	22
6.1.2 Lucha civil/ conflicto comunal	24
6.1.3 Autodefensa acomodada	26
6.1.4 Defensa conjunta	28
6.2 La cultura geomántica del <i>Tulou</i> :	29
6.2.1 Emplazamiento del edificio	30
6.2.2 Disposición del edificio	35
6.2.3 Rituales y oraciones tradicionales	37
6.3 Cultura del clan Hakka	39
7. Materiales tradicionales de <i>Tulou</i>	46
7.1 <i>Shengtu</i> y <i>Sanhetu</i>	47
7.2 Sacarosa	52
7.3 Sangre	53
7.4 Arroz glutinoso	55
7.5 Clara de huevo	56
8. Hakka <i>Tubao</i> y Hakka <i>Tulou</i>	57
8.1 Características de los <i>Tubao</i> Hakka:	61
8.2 Características de Hakka <i>Tulou</i>	66
8.3 Similitudes y diferencias entre Hakka <i>Tubao</i> y Hakka <i>Tulou</i>	73
9. Cambios en la forma del Hakka <i>Tulou</i>	75
9.1 塆堡 <i>Wubao</i> (Habitabilidad de la fortaleza) Cambio de formas arquitectónicas	77
9.2 Estilos de vida agrupados	78
9.3 Disposición simétrica del edificio	79
9.4 Disposición centrada en el santuario	80
10. Formas de Hakka <i>Tulou</i>	82
10.1 <i>Tulou</i> redondo	82
10.2 <i>Tulou</i> elíptico	84
10.3 <i>Tulou</i> en forma de <i>Bagua</i>	86
10.4 <i>Tulou</i> curvo	88
10.5 <i>Tulou</i> poligonal	90
11. Métodos tradicionales de construcción de <i>Tulou</i>	91
11.1 打石脚 <i>Dashijiao</i> (Cimentación y cimientos.)	92

11.2	行墙 <i>Xingqiang</i> (Muro de hilera) / <i>Tuqiang</i> apisonada/ 春墙 <i>Chongqiang</i>	95
11.2.1	Fomas comunes de hacer <i>Tuqiang</i>	101
11.2.2	Haciendo <i>Tuqiang</i> (<i>Shengtu</i> y arcilla húmeda)	102
11.2.3	Especial <i>Sanhetu</i>	103
11.3	Construcción de marcos de madera/献架 <i>Xianjia</i> (marcos de dedicación)	104
11.4	出水 <i>Chushui</i> (Alicatado y tapado)	105
12.	Plicación y análisis de las técnicas de mantenimiento de los edificios Hakka <i>Tulou</i>	108
12.1	Ventajas e inconvenientes de las herramientas de comprobación utilizables	108
12.1.1	Ensayo de gatos planos (flat-jack test)	108
12.1.2	Esclerometro	111
12.1.3	Extractómetro	114
12.1.4	La tecnica de ultrasonido	116
12.1.5	Fisurómetro	119
12.1.6	Análisis de termografía	121
12.1.7	Sondeo con taladro: Resistografo	123
12.1.8	Esclerometro	126
12.1.9	Análisis de xilohigrometro de resistencia electrica	129
12.1.10	Penetrómetros	131
12.2	Uso de instrumentos de prueba en <i>Tuqiang</i> de Hakka edificios	133
12.2.1	Espectrometría de masas con acelerador	134
12.2.2	Pruebas combinadas de ultrasonidos y esclerómetro para comprobar la estabilidad de las paredes del suelo	137
12.3	Medios de prueba utilizados en las estructuras de madera de la arquitectura hakka ..	142
12.3.1	Galga extensiométrica	144
12.3.2	Pruebas de cerchas a tamaño real	146
13.	Análisis de las patologías comunes del Hakka <i>Tulou</i>	148
13.1	Agrietamiento y contracción de los <i>Tuqiang</i>	150
13.2	Erosión por sales solubles	152
13.3	Deformación y descascarillado del revestimiento mural	154
13.4	Agrietamiento y deformación de los componentes de madera	155
13.5	Enfermedades biológicas de los elementos de madera	157
13.6	Destrucción causada por el hombre	158
14.	Intervención y reparación	160
14.1	Reparación de suelos compactados inestables mediante lechada de cemento	161
14.2	Tecnología de autocuración microbiana para <i>Tuqiang</i>	164
14.3	Refuerzo de la estructura de madera de <i>Tulou</i>	167
14.4	Restauración de estructuras de madera contra plagas y enfermedades	169
15.	Análisis de las intervenciones e investigaciones sobre la construcción de la tierra	172
15.1	Matriz de analisis de inteveciones en bienes arquitectonicos/iba	174
15.2	Análisis de la situación actual de <i>Tulou</i>	179
15.2.1	Falta de protección política pertinente	179
15.2.2	La ausencia de cultura <i>Tulou</i>	182
15.2.3	Falta de seguridad y espacio	183
16.	Conclusiones	185

17. Referencias.....	187
18. Bibliografía.....	197
19. Anexo.....	203

1. Explicación de nombres propios:

Con el fin de garantizar la precisión del contenido de este trabajo y la simplicidad del lenguaje utilizado, los nombres propios presentes en el artículo se han nombrado y explicado de manera sistemática. Todas las explicaciones de los conceptos incluidos en esta lista provienen de Wikipedia. Dada la especificidad de algunos términos y la disponibilidad exclusiva de explicaciones en chino en Wikipedia, ciertos conceptos han sido traducidos del chino al español por mí mismo.

Nombre chino	Nombre en el texto	Significado de la palabra
客家	Hakka	Se trata de un subgrupo diferenciado dentro de la etnia han. Sus orígenes se remontan a hace 1,700 años en el norte de China, aunque las migraciones constantes han llevado a que, en la actualidad, se encuentren principalmente en el sur del país.
福佬	Fulao	El término empleado por los hablantes de cantonés y hakka para referirse a los habitantes de Fujian.
土樓	<i>Tulou</i>	Un <i>Tulou</i> suele ser un recinto cerrado, de forma rectangular o circular, con gruesos muros portantes de tierra y una estructura de madera. Estas construcciones de tierra generalmente cuentan con una única entrada, y los pisos superiores del <i>Tulou</i> poseen aberturas diseñadas para la defensa contra bandidos.
土堡	Tubao	Una estructura tipo búnker construida con tierra y piedra.

坞堡	Wubao	Es un tipo de edificación defensiva popular durante el período de los Cinco Reinos y los Dieciséis Reinos, así como en las Dinastías del Sur y del Norte. Con el fin de resistir los conflictos provocados por las invasiones del pueblo Hu, los han del norte se organizaron en clanes y comunidades para protegerse del peligro y establecer una barrera militar que también asegurara su autosuficiencia económica.
祠堂	Citang	También conocido como templo del linaje, este tipo de templo está dedicado a los antepasados deificados y a los progenitores de linajes o familias con el mismo apellido, según la tradición china. Los templos ancestrales están estrechamente ligados a la filosofía y cultura confucianas, que enfatizan la importancia de la piedad filial.
风水	Feng shui	Un antiguo sistema filosófico chino de origen taoísta, basado en la ocupación consciente y armónica del espacio para lograr una influencia positiva sobre quienes lo habitan. Los caracteres que lo componen –'viento' y 'agua'– hacen referencia a la idea de 'fluir' o 'dejar fluir'.
夯土墙	HangTuqiang (Este trabajo se conoce como: Tuqiang)	Un tipo de material de construcción caracterizado por su solidez. Este material se compone de una mezcla de barro rojo, arena gruesa y bloques de cal, cuyos vacíos se compactan mediante apisonamiento, aumentando así su resistencia. Entre los materiales de construcción de origen terrestre, es relativamente sólido y, en la antigüedad, se

		empleaba con frecuencia en la construcción de murallas y palacios. El Hakka <i>Tulou</i> , por ejemplo, presenta la apariencia característica de este material de color terroso. Este tipo de construcción es similar al tapial, una técnica también empleada en España.
土墙	<i>Tuqiang</i>	Muros hechos de tierra
土砖	<i>Tuzhuan</i>	Conocido como ladrillo sin cocer, es un ladrillo secado al aire, elaborado a partir de una mezcla de barro (que incluye marga, arcilla, arena y agua) combinada con un material aglutinante, como cáscara de arroz o paja. Este material es similar al adobe utilizado en España.
八卦	<i>Bagua</i>	Un nombre de un símbolo de origen chino compuesto por ocho trigramas (agrupaciones de tres líneas, unas continuas y otras partidas) dispuestos de manera específica alrededor de un centro, el <i>Yin-Yang</i> .
阴井	<i>Yingjin</i>	Se refiere a diversos tipos de pozos de alcantarillado, como los pozos de aguas pluviales, los pozos de aguas residuales, entre otros.
阳井	<i>Yangjin</i>	Pozo destinado a la extracción de agua potable.
阴 阳	<i>Ying Yang</i>	Son dos conceptos del taoísmo utilizados para representar las dos fuerzas fundamentales, opuestas y complementarias, pero interconectadas, presentes en todas

		las cosas. Esta filosofía les atribuye influencia sobre todo lo que existe en el universo. El <i>Yin</i> es el principio femenino, asociado con la tierra, la oscuridad, la pasividad y la absorción, mientras que el <i>Yang</i> es el principio masculino, relacionado con el cielo, la luz, la actividad y la penetración.
十番	<i>Shifan</i>	La música Hakka <i>Shifan</i> es una música instrumental folklórica transmitida por artistas tradicionales hakka de dinastías pasadas. Sus composiciones reflejan principalmente la naturaleza, así como las costumbres y los gustos de vida del pueblo hakka.
庙会	<i>Miaohui</i>	Se refiere a reuniones cerca de templos para realizar actividades como honrar a los dioses, competir y actuar. Es una celebración tradicional dentro del ámbito cultural chino. Las ferias de los templos modernas se celebran principalmente durante la festividad dedicada al dios en cuestión.
妈祖	<i>Mazu/ Matsu</i>	Los pescadores y marineros a lo largo de toda la costa de China consideran a <i>Mazu</i> como la protectora del mar.
青瓦	<i>Qingwa</i>	Se moldea a mano. Tras el proceso de cocción, se somete a otro tratamiento conocido como horneado. Durante este proceso, se produce una reacción química que hace que el material adquiera un color gris azulado.
青砖	<i>Qingzhuan</i>	La arcilla utilizada como materia prima contiene el producto

		de la erosión prolongada de ciertos minerales de silicato de aluminio, que recibe su nombre por su fuerte pegajosidad. Ladrillos más fuertes y un color gris azulado.
斧头间	<i>Futoujian</i>	Las habitaciones dentro del <i>Tulou</i> están dispuestas de manera particular. Las paredes interiores y exteriores del <i>Tulou</i> son arcos formados por círculos concéntricos, más largos por fuera y más cortos por dentro. Las paredes divisorias de las habitaciones son radiales, y las habitaciones se disponen como los pétalos de un cítrico (o como las hojas de un hacha), reunidos en un círculo.
私塾	<i>Sishu</i>	Es un tipo de escuela privada o intensiva en la antigua China. Estas escuelas eran generalmente dirigidas por individuos, como académicos o eruditos, y se establecían en los hogares de los propios profesores.
打石脚	<i>Dashijiao</i>	Uno de los pasos para realizar los cimientos del <i>Tuqiang</i> fundamental para garantizar la estabilidad de las construcciones de tierra
行墙	<i>Xingqiang</i>	Uno de los pasos para realizar los cimientos del <i>Tuqiang</i> . Consiste en colocar la base del muro, seguida de la instalación de un encofrado sobre dicha base para construir el <i>Tuqiang</i> .
献架	<i>Xianjia</i>	Uno de los pasos para realizar los cimientos del <i>Tuqiang</i> . Consiste en embestir cada <i>Tuqiang</i> hasta alcanzar la altura

		del piso. A continuación, se debe cavar una ranura en la parte superior de la pared para sostener las quillas de madera del piso. Luego, las vigas de madera se colocan en su lugar, enmarcadas por columnas verticales de madera de carpintería.
出水	Chushui	Uno de los pasos para realizar los cimientos de <i>Tuqiang</i> . Una vez apisonada la pared superior, se procede a construir el techo de tejas.
经木	Renmu	Uno de los pasos para realizar los cimientos de <i>Tuqiang</i> . Se procede a utilizar refuerzos de pared con un marco de madera horizontal en el <i>Tuqiang</i> .
棚	Peng	Un marco hecho de madera de bambú, cubierto con esteras, telas y otros materiales en el interior para protegerlo del viento, la lluvia y el sol, o una estructura simple tipo cabaña.
扛梁	Kangling	Estructura básica de madera. La relación entre la mitad de la longitud de la viga del hombro y la altura de la columna es de 1:0,45.
销钉	Shaoding	Componentes estructurales de madera. Esta estructura consiste en insertar un pasador de madera cuadrado de manera horizontal en el centro de la espiga deformada, lo que impide su desenganche.
棒钉	Sunding	
楔块	Lengkuai	

生土	<i>Shengtu</i>	La estructura principal del edificio está construida con tierra sin cocer, que ha sido procesada de manera sencilla.
熟土	<i>Shutu</i>	Desde la perspectiva de la ciencia del suelo, el suelo que ha sido desarrollado, fertilizado y cultivado artificialmente tiene suelo suelto.
三合土	<i>Sanhetu</i>	El suelo de construcción se elabora a partir de una mezcla de tres o más materiales. Generalmente, se refiere a suelos de construcción mixtos tradicionales, como tierra apisonada o tierra golpeada. Las composiciones comunes incluyen cal, arcilla y arena fina, y la proporción exacta depende del contenido de arena del suelo. Tras ser compactado en capas, el material adquiere cierta resistencia al agua y se utiliza principalmente como base para edificios o como cojín de pavimento.
夯土	<i>Hangtu</i>	Es una clase de material de construcción. Esto significa que los huecos en una mezcla de barro rojo, arena gruesa y bloques de cal se vuelven más sólidos tras la acción de apisonamiento. Es un material relativamente firme dentro de los materiales terrestres. La palabra <i>Hangtu</i> también se utiliza con frecuencia como verbo, expresando la acción de utilizar objetos pesados para eliminar los huecos en el suelo, lo que fortalece el terreno. Hang es un verbo similar a la acción de 'aplastar' o 'golpear'.
瓦口	<i>Wakou</i>	En el edificio, se coloca sobre los aleros y el borde superior se corta con un arco cóncavo para soportar las tejas del

		alero.
围屋 / 围龙屋	<i>Weiwu/Weilongwu</i>	Gran estructura de vivienda comunitaria multifamiliar diseñada para ser fácilmente defendible. Este estilo de construcción es exclusivo del pueblo hakka que habita en el sur de China. Las aldeas amuralladas suelen estar diseñadas con fines defensivos y constan de una entrada y sin ventanas a nivel del suelo.
石敢当	<i>Shigandang</i>	Shigandang es una tablilla de piedra ornamental con escritura, que se utiliza para exorcizar espíritus malignos en el este de Asia.

2. Introducción

China comenzó a ser testigo de la aparición de una civilización sedentaria alrededor del año 2300 a.C., cuando los nómadas se establecieron en la llanura aluvial del río Amarillo e iniciaron la civilización de Longshan¹. En esta región, la tierra blanda podía ser modelada en forma de casas de foso y apilada para formar muros de montículos de tierra apisonada. Esto facilitó el desarrollo de asentamientos defensivos, como los encontrados en Lianyungang (provincia de Jiangsu), Taoji (provincia de Shanxi) y Erlitou (provincia de Henan). En Pingliantai se han encontrado evidencias de tableros moldeados y herramientas para apisonar la tierra.

Durante el periodo de los Estados Combatientes (475-221 a.C.), la tierra se utilizó para construir muros más elaborados en asentamientos más grandes, como Anyang, Linzi y Xanadu. La dinastía Qin (221-206 a.C.) fue la primera en construir *Tuqiang* en el oeste de China, a lo largo de su frontera septentrional. Estas murallas fueron reparadas y ampliadas durante las dinastías Han (206 a.C.-220 d.C.) y Jin (265-420 d.C.). La dinastía Tang (618-907 d.C.) expandió las fronteras y el comercio de China, pero también se vio amenazada por las tribus del norte, lo que llevó a la construcción de asentamientos fortificados en el noroeste de China, a lo largo de la parte oriental de la Ruta de la Seda. Estos asentamientos, como Jiahe, Gaochang y Xi'an, estaban rodeados por grandes *Tuqiang*. La ciudad de Kashgar, en el oeste de China, se construyó con adobe, mientras que la Fortaleza de Baishui Yaosai, en el extremo occidental de la Gran Muralla, se levantó completamente con *Hangtu*.

La caída de la dinastía Tang hacia el año 907 dio paso a un periodo de gran agitación en China. La siguiente dinastía importante en construir grandes estructuras monumentales de tierra fue la dinastía Ming (1368-1644), que adoptó una política de expansión radical. Las murallas de Xi'an, la capital de la dinastía Ming, fueron inicialmente construidas con *Hangtu* y posteriormente transformadas en piedra. Al mismo tiempo, la Gran Muralla, a lo largo de la

¹ La cultura de Longshan (en chino, 龙山文化) surgió a finales del Neolítico, en las zonas cercanas al curso medio y bajo del río Amarillo, en China. Los arqueólogos datan la cultura de Longshan entre el tercer y el segundo milenio a.C.

Ruta de la Seda y en la frontera norte, fue reparada y mejorada, mientras que los nuevos fuertes en el paso de Jiayuguan y en Hexi fueron construidos con adobe.



Foto 1 *Tuqiang* en el yacimiento de Yan Xiandu²

Fuente: periódico zhongguowenwu



Foto 2 Antigua Gran Muralla de Ningxia³

Fuente: Gobierno Popular de la Región Autónoma Hui de Ningxia

²http://www.zhongguowenwubao.com/portal/digit_pager/paperdetail/publishdate/2023-11-24/paperId/20334/id/103557

³ https://www.nx.gov.cn/ssjn/esyj/202303/t20230328_4011445.html

3. Objetivo

Objetivo principal:

Conocer y analizar la arquitectura de tierra apisonada, ejemplificada por la arquitectura Hakka, con el fin de proponer soluciones eficaces para su conservación y restauración, teniendo en cuenta tanto su valor histórico y cultural como los desafíos técnicos que presentan.

Objetivos específicos:

- Conocer, revisar y analizar la bibliografía existente sobre la arquitectura de tierra apisonada, especialmente las construcciones Hakka, con énfasis en su contexto histórico, características constructivas, funciones y relevancia cultural.
- Identificar y analizar los problemas estructurales que afectan a las construcciones de tierra apisonada, tanto en términos de la interacción de las estructuras de madera y tierra como de los riesgos asociados al paso del tiempo y a factores ambientales.
- Proponer un estudio hipotético sobre la restauración de estos edificios, considerando tanto los métodos técnicos de conservación como las implicaciones culturales y sociales, y ofrecer recomendaciones para su mejora y preservación a largo plazo.

4. Metodología

Los métodos de investigación empleados incluyen principalmente la revisión de literatura, la investigación física, el análisis comparativo y la comunicación visual.

El método de revisión de literatura se centra en la recopilación, identificación y organización de documentos, con el objetivo de construir una comprensión científica de los hechos mediante el estudio de fuentes literarias. Los objetos de la revisión de literatura abarcan textos, objetos físicos, fotografías, imágenes e información oral. La información se obtiene de diversas fuentes, tales como bibliotecas, archivos, museos, instituciones sociales, científicas y educativas, conferencias académicas e Internet. La ventaja de este método de investigación radica en su capacidad para superar las limitaciones de tiempo y espacio; es decir, permite a

investigadores y lectores organizar y clasificar de forma remota registros culturales y folclóricos de distintas épocas en China y realizar análisis comparativos adicionales, logrando así una investigación de amplio alcance.

La investigación física se divide en dos áreas principales: en primer lugar, la investigación in situ y, en segundo lugar, la investigación de restauración basada en las condiciones in situ. Los datos de las excavaciones in situ constituyen la información más básica y precisa. De este modo, las imágenes históricas y los dibujos proporcionan funciones de verificación y complementación, mientras que los archivos de texto aportan información auxiliar. Sobre esta base, se realiza una investigación y estudio físico de edificios del mismo periodo y tipo. A menudo, existen correlaciones y similitudes entre edificios del mismo tipo en un mismo periodo, y la investigación sobre estos edificios puede desempeñar un papel de apoyo y referencia en la restauración.

El método de análisis y comparación se refiere a un enfoque de investigación que se centra en un objeto específico, con el objetivo de extraer su experiencia y principios a lo largo del proceso de formación y en su resultado final. Este método requiere que el investigador realice un análisis e investigación sistemáticos después de recopilar información en la fase anterior. En este punto, los investigadores integrarán y analizarán la información y ofrecerán opiniones y referencias propias basadas en el análisis de los resultados obtenidos en las investigaciones físicas.

5. Historia de la arquitectura de *hakka Tulou*

En la provincia de Fujian, ubicada en el centro de China, las casas redondas del pueblo hakka han sido recientemente declaradas Patrimonio de la Humanidad. Estas grandes construcciones de *Hangtu*, conocidas como *Tulou* (literalmente, estructuras de tierra) , eran las viviendas fortificadas de muchas familias.

El área habitada por los hakka alberga una serie de edificios destacados; sin embargo, por diversas razones, la mayoría de ellos no registran la época exacta de su construcción. Esta situación ha generado numerosas controversias respecto a la datación de estos edificios de loza.

El famoso Chengqilou es considerado un representante significativo de la "Edad de los *Tulou*". En la edición de abril de 1994 del «永定县志» (*Crónicas del Condado de Yongding*, perteneciente a la serie «Crónicas Antiguas de Fujian»)⁴, en el capítulo «土楼» («*Tulou*») del volumen 33, se indica que su construcción data del año 1709, cuadragésimo octavo año del reinado de Kangxi de la dinastía Qing.[1]



Foto 3 Vista aérea del edificio Chengqi⁵

Fuente: Ministerio de Cultura y Turismo de la República Popular China

Se ha encontrado en diversos documentos que el mismo *Tulou*, con la misma información disponible, presenta sorprendentemente diferentes fechas de construcción. Por lo general, al inspeccionar un *Tulou* cuya fecha exacta no está registrada, se depende principalmente de los registros genealógicos. Si bien la genealogía no puede proporcionar una fecha exacta de

⁴ Este serie de libro recopila información detallada sobre todos los aspectos de la historia, geografía, economía, cultura, política y sociedad del condado de Yongding. Las historias locale sproporcionan abundante información sobre la historia y el folclore locales, documentan en profundidad las condiciones naturales y sociales de una región.

⁵ https://zhuanli.mct.gov.cn/xcss2024_shjlzzxc/fujian/detail/6820.html

construcción, puede indicar la generación en la que se edificó. En este sentido, la genealogía del pueblo hakka es bastante clara, y a partir de ella se puede deducir de forma razonable la época de construcción.

Las tres teorías sobre la datación del Chengqilou se basan en la genealogía del clan Yongding Jiang; sin embargo, la realidad es que la genealogía antigua del clan Gaotou Jiang se perdió hace tiempo, y en la actualidad no hay forma de verificarla. En 《永定土楼》(Yongding Tulou)⁶, se menciona que el Jinshanzhai de la localidad de Yongding Gaotou fue designado como construido en el «segundo año de Xiangxing de la dinastía Song del Sur».[2]

Comprender estas historias presenta ciertas dificultades. En primer lugar, el pueblo *hakka* posee únicamente una lengua oral, sin escritura, por lo que generalmente es necesario realizar una traducción; en segundo lugar, debido a las guerras, muchos textos se perdieron o no se registraron, lo cual también complica la investigación actual.

6. Cultura y folclore hakka

6.1 Propósito de la construcción de Hakka Tulou

En cuanto a los *Tulou* redondos, la explicación popular sostiene que el pueblo *hakka* en el sur comenzó a vivir en estas estructuras para protegerse de bandidos y animales salvajes, dando origen a estas edificaciones. Hu Daxin señaló que existen dos maneras de congregarse y vivir juntos: una es formando aldeas y otra es construyendo un *Tulou*, siendo que la geografía de Yongding no permite la creación de aldeas convencionales. Según los registros de los «八闽通志» (*Serie Crónicas antiguas de Fujian: Ocho distritos administrativos*)⁷ de la dinastía Qing, el área de Yongding es montañosa y escarpada, y

⁶ Un libro dedicado al *Tulou* del distrito de Yongding, en la ciudad de Longyan, provincia de Fujian. Este *Tulou* representa una parte fundamental del Fujian *Tulou*, reconocida por su larga historia, su estructura arquitectónica distintiva y sus profundas connotaciones culturales.

⁷ Una historia local completa de la provincia de Fujian, compilada durante las dinastías Ming y Qing en China. Esta obra documenta aspectos fundamentales de la naturaleza, historia, geografía, política, economía y cultura de la provincia, y es una referencia esencial para comprender la historia y la cultura de Fujian durante dichas

carece de terreno llano para establecer aldeas. Además, al estar en la frontera entre dos provincias, Yongding solía estar expuesto a bandidos y ladrones. Por lo tanto, Hu Daxin enfatiza que el *Tulou* es un producto de la alta integración entre las funciones defensivas y residenciales en la vida del pueblo hakka.

Los registros del condado de Haicheng de la dinastía Ming (o *Serie Crónicas antiguas de Fujian: Haicheng*)⁸ documentan un poema escrito por Huang Wenhao, un erudito del año 35 del reinado de Jiajing de la dinastía Ming. El poema describe la fortificación de un asentamiento en la montaña y expresa la voluntad de defensa de la población ante las amenazas. Huang Wenhao escribe:

Construye una ciudad en una montaña, tala árboles para usarlos como armas, construye altos edificios y pabellones, y blande tus armas a través de capas de barreras con la misma fiereza que un tigre y remonta el vuelo como un dragón. Mira a esos ladrones rebeldes como si fueran plagas. Ay, si las cuatro direcciones fueran así, ¿cómo podría haber un fiasco como el de Changping? ¿Por qué abandonaron sus peligrosas posiciones defensivas, sólo para asustarse por el sonido de tigres y lobos? Los antiguos decían que la tierra de Ming produce gente con talento. ¿No hay nadie que esté dispuesto a pedir el honor de ir a la guerra? Quien pueda convertir armas en herramientas de labranza, lo usaré como barrera de defensa.⁹
[3]

Este poema revela no sólo el espíritu defensivo de la época, sino también la integración entre los ideales de paz y la preparación para la defensa en tiempos de conflicto.

dinastías.

⁸ Contiene información detallada sobre la historia, geografía, política, economía y cultura del condado de Haicheng, que corresponde a la actual ciudad de Longhai y sus alrededores, en la provincia de Fujian.

⁹ Texto original: 倚山兮为城，斩木兮为兵接空楼阁兮，跨层层奋戈兮若虎视而龙腾，视彼逆贼兮如螟蛉吁嗟，四方俱若此兮，何至坑乎长平奈何弃险阻于不守兮，闻虎狼而心惊古云闽中多才俊兮，岂无人乎请纓谁能销兵器为农器兮，吾将倚为藩屏。[3]

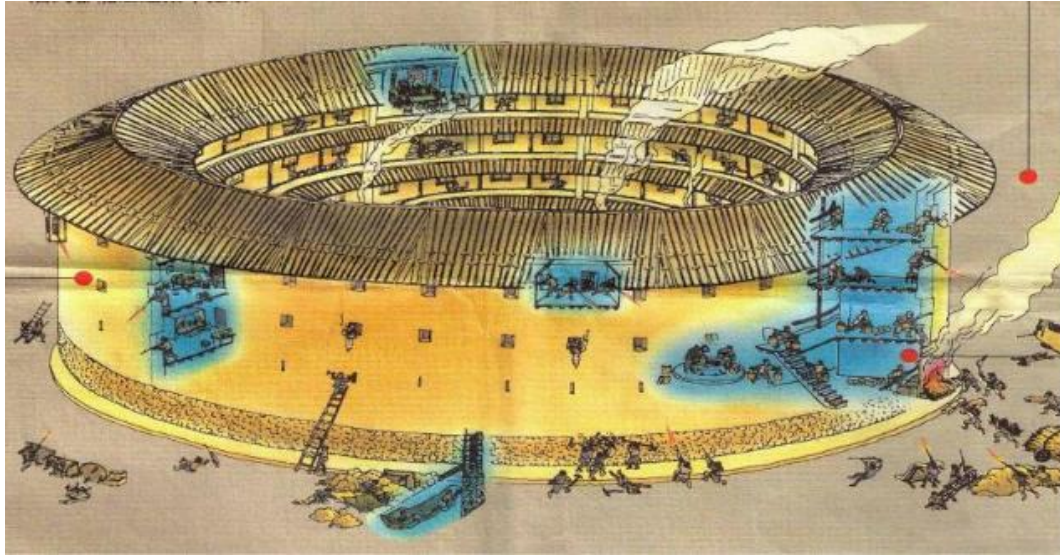


Foto 4 Diagrama de defensa de Fujian *Tulou*

Fuente: Guo Yucheng[4]

6.1.1 Defensa contra los enemigos exteriores

Tang Shiji, gobernador de Gan del Sur, presidió la revisión del 《重修虔台志·卷七》 (*Revisión y Restauración del Registro de la Plataforma Qiantai, Volumen 7*)¹⁰ durante el otoño de julio, llevando a cabo una purga de las zonas vecinas afectadas por bandidos notorios. Según los registros, los ladrones Deng Huiquan, Deng Xingzu y Xie Dabun, originarios del condado de Yong'an en Fujian, reunieron a más de 4.000 personas en el año 38 del período Jiajing. Estos ocuparon la principal vía fluvial de Amoy Grande y Pequeña, construyeron dos *Tulou*, cavaron estanques y levantaron vallas para protegerse.¹¹[5]

Compilado por He Qiaoyuan, 《闽书》 (*Libro de Ming*) en el año 25 del reinado de Jiajing (1546), se documenta la rebelión de los bandidos Chen Rongyu y Liu Wen Yang en el

¹⁰ Registra con detalle la geografía, la historia, la cultura, la economía y la sociedad de la ciudad de Ganzhou (anteriormente conocida como Qiantai) y sus alrededores, en la provincia de Jiangxi. Como un tipo de historia local, el *Plataforma Qiantai* se enfoca principalmente en la historia de Qiantai y constituye un documento clave para comprender la historia y la cultura locales.

¹¹ Texto original: 秋七月剿除邻界剧匪，福建永安县贼邓惠铨、邓兴祖、谢大髻等，于嘉靖三十八年聚党四千人，占据大小淘水路要道，筑二土楼，凿池竖栅自固。[5]

condado de Zhao'an, en la provincia de Fujian. En abril del año 44 del reinado de Jiajing (1565), el condado de Longyan fue nuevamente escenario de disturbios, esta vez encabezados por los líderes de los bandidos Zeng Dongtian y Ma Yuanxiang, quienes ocuparon durante largo tiempo la Ciudad Amurallada de Cabeza de Dragón. Los funcionarios de Nan Gan de las dos provincias movilizaron conjuntamente a sus tropas y, junto con Zhou Xian y Xuan Du, encargados de patrullar las rutas marítimas, así como Deng Shiyuan, un co-conspirador, y Wang Rulong, un senador, lograron purgar y eliminar a los rebeldes, rebautizando su fortaleza como "Cresta de Shahu".[6]

Gu Yanwu registró en 《天下郡国利病书》 (*Libro de las Ventajas y Desventajas de los Condados y Estados del Imperio*)¹²: desde el año Jiajing *Xinyou* (1561), los bandidos y salteadores se rebelaron con frecuencia, lo que llevó a la población a construir recintos y *Tulou* para defenderse, especialmente en las zonas costeras, donde se volvieron más comunes.[7]

Según los tres libros mencionados, durante el período Jiajing, la construcción de *Tulou* para la defensa contra bandidos e invasores subraya claramente su naturaleza como estructuras de defensa militar.

Existen razones históricas profundas que explica el énfasis de Gu Yanwu en la época Jiajing y Wanli, especialmente en la mitad y el final del reinado de Jiajing, que fueron sin duda los peores años para los piratas y bandidos japoneses que asolaron diversas partes de Fujian. Esto se debe a que, como resultado de la lucha contra los invasores japoneses, se construyeron terraplenes en el sur y el centro de Fujian, los cuales se desarrollaron y perfeccionaron en el contexto de esa lucha.

Esta es la razón principal del gran número de *Tubao* en las dinastías Ming y Qing. Durante estos períodos, la sociedad estuvo marcada por grandes convulsiones. Desde el levantamiento de Deng Maoqi en el año 13 de Zhengtong de la dinastía Ming (1448),

¹² Una obra importante de geografía política. Analiza sistemáticamente las ventajas y desventajas de la dinastía Ming en todo el país, incluyendo condados, prefecturas y otras unidades administrativas locales. La obra revela los problemas y deficiencias de la administración local de la dinastía Ming y presenta propuestas de reforma.

pasando por la grave invasión japonesa durante el período Jiajing de la dinastía Ming, hasta los problemas externos e internos al final de la dinastía Qing y los señores de la guerra de la República de China, los tiempos fueron turbulentos, los bandidos campaban a sus anchas y la gente vivía en una situación desesperada. Muchos pueblos de montaña parecían estar deshabitados, sin gente que caminara por las calles, sin habitantes en las casas y sin nadie que cultivara la tierra. Ante esta difícil situación, se construyeron *Tubao* en el territorio de Minzhong. Un ejemplo de ello es el Fuerte Zhengyuan en la aldea Daotaokou, pueblo Xiaotao, ciudad Yong'an. El edificio de dos pisos tipo salón del fuerte fue construido inicialmente en el cuarto año de Xianfeng en la dinastía Qing (1854), pero fue incendiado por bandidos en el noveno año de Xianfeng (1859). Posteriormente, fue reconstruido en el segundo año de la dinastía Tongzhi (1863), momento en el cual se levantaron las murallas del fuerte.[8][9]



Foto 5 *Tulou* en las pinturas de guerra

Fuente: Liu zhengyu¹³

6.1.2 Lucha civil/ conflicto comunal

Los *Tulou* se erigieron inicialmente en el sur y el centro de Fujian, donde el caos era más frecuente e intenso. Posteriormente, al intensificarse la invasión japonesa en la zona costera

¹³ https://www.thepaper.cn/newsDetail_forward_5114962

de Zhangzhou, el mayor número de *Tulou* se construyó en los condados de Longxi, Zhangpu y Haicheng. Además, también se encuentran *Tulou* en la zona entre la montaña Boping y la montaña Daimao, en el sureste del condado de Yongding de Tingzhou, una región fronteriza entre los pueblos *Fulao* y hakka. Esto pone de manifiesto el problema histórico del conflicto entre las etnias *Fulao* y hakka.

Libro sobre las Ventajas y Desventajas de los Condados y Estados del Imperio presenta, además de numerosos relatos sobre los invasores japoneses, varias menciones a los "bandidos de Shan" y "bandidos de Rao" que acosaban Zhangzhou.[7] Los "bandidos de Shan" eran hakka provenientes de las zonas montañosas del oeste de Zhangzhou o de las montañas de Tingzhoufu, mientras que los "bandidos de Rao" se referían a las fuerzas armadas locales originarias de Raoping. La zona montañosa occidental de Raoping también es un asentamiento hakka, por lo que puede afirmarse que las dos fuerzas de "bandidos de Shan" y "bandidos de Rao" invadieron Zhangzhou, lo cual constituye una historia del conflicto entre ambos grupos étnicos desde la perspectiva del pueblo *Fulao*. La arquitectura *Tulou*, que demostró su eficacia en la prevención de invasiones japonesas y acumuló una gran experiencia, fue reconocida tanto por los *Fulao* como por los hakka, lo que condujo a su uso generalizado en la región.

Durante las dinastías Ming y Qing, la situación de los municipios del sur de *Fujian* reflejaba esta característica. Un ejemplo de ello es el condado de Zhao'an:

Los habitantes de las cuatro ciudades construyeron *Tubao*, con una puerta en cada una de las cuatro direcciones, estructuras similares a muros, y la gente se reunía en estos fuertes. Las fortalezas estaban bien equipadas. En dos de las ciudades no había murallas, pero estaban rodeadas por amplios recintos, con muros de varios metros de altura y varios pisos alineados en línea recta. Estos recintos se dejaban abiertos por todos los lados para tener una vista lejana. Toda la colonia vivía muy unida, compartiendo una única entrada y salida. Las puertas eran tan fuertes como el hierro y la piedra y estaban bien protegidas. Existía una profunda desconfianza entre los aldeanos, y el más mínimo conflicto solía desembocar en peleas armadas: una persona con rencor podía provocar una pelea en grupo de cientos o miles de personas, que

podía durar meses, con docenas o cientos de muertos y heridos, sin cesar.¹⁴ [10]

En cada uno de estos combates, hombres adultos de todos los grupos étnicos acudían en masa, siguiendo la ley militar, y las escenas eran bastante espectaculares. Según la costumbre local, ambos bandos debían contar el número de muertos después de la batalla. El bando con más muertos, siguiendo el principio de venganza de los parientes consanguíneos, concertaba una cita para luchar de nuevo, con el fin de matar el mismo número de personas del otro bando para compensar sus propias muertes.

Según lo anterior, la construcción a gran escala de *Tulou* en Zhangzhou, Fujian, tuvo como objetivo defenderse de los invasores japoneses durante la dinastía Ming. Aunque la invasión japonesa disminuyó con el tiempo, tanto el pueblo *Fulao* como el pueblo hakka reconocieron el gran papel de los *Tulou* en la resolución de conflictos comunales, lo que llevó a ambos grupos a seguir mejorando la arquitectura de los *Tulou* con fines defensivos.

Con el desarrollo de la historia, el hakka *Tulou* se ha convertido en un símbolo cultural del pueblo hakka y en un valioso patrimonio histórico y cultural de este pueblo. El hakka *Tulou* es portador del concepto de familia del pueblo Hakka y del espíritu de resistencia. Aunque el significado original de la conservación del hakka *Tulou* ha desaparecido básicamente en la actualidad, su papel como apoyo espiritual del pueblo *hakka* para la preservación sigue siendo difícil de borrar. Hoy en día, el valor histórico y cultural del Hakka *Tulou* recibe cada vez más atención, y se espera que, bajo los esfuerzos conjuntos de todos los sectores de la sociedad, el hakka *Tulou* continúe destacándose en la nueva era.

6.1.3 Autodefensa acomodada

Estas *Tubao* se caracterizan por su gran escala, su elaborada estructura, sus numerosas casas y su detallada decoración. Un ejemplo de ello son las tres *Tubao* de la aldea de

¹⁴ Texto original: “四都之民，筑土为堡，雉蝶四门如城制，聚族于斯，其中器械具备。二都无城，广筑围楼，墙高数仞，直上数层，四面留空，可以远望。合族比栉而居，由一门出入。门坚如铁石，器械毕具。一夫修怨，千百为群，连斗累月，互相死伤数十百人而不息。”[10]

Shuimei, en la calle Fenggang del condado de Shaxian, que fueron construidas durante el periodo Daoguang de la dinastía Qing por los tres hermanos de Zhang Shunzhi. La familia Zhang emigró de Anxi al condado de Shaxian y se estableció allí, ganándose la vida cultivando y procesando té, además de comprar hojas de té a los agricultores vecinos para venderlas en Fuzhou y otros lugares. Tras varias generaciones de duro trabajo, la familia fue acumulando riqueza y se convirtió en una de las más prominentes en un radio de varios kilómetros.

Para vivir y trabajar en paz y armonía, y para protegerse de bandidos y ladrones, los hermanos construyeron tres *Tubao*: Shuangji, Shuangxing y Shuangyuan. Se dice que los hermanos Zhang viajaron a Fuzhou, la capital provincial, para que la oficina de diseño del gobierno elaborara los planos de las *Tubao*, y luego contrataron a artesanos expertos de la zona y de su ciudad natal para construir la fortaleza a su regreso.¹⁵



Foto 6 Grupo de *Tubao* Suimei (edificio Shuangji , edificio Shuangxing, edificio Shuangyuan)¹⁶

Fuente: La 44ª Conferencia del Patrimonio Mundial

¹⁵ La información proviene del aviso del Gobierno Popular Provincial de Fujian sobre el anuncio del séptimo lote de unidades provinciales de protección de reliquias culturales y su alcance de protección.

https://www.fujian.gov.cn/zwgk/zxwj/szfwj/200912/t20091209_1464576.htm

¹⁶ <https://www.44whcfuzhou2021.cn/node/13599/20210720/60f5a54c1679b.shtml>

6.1.4 Defensa conjunta

Este tipo de *Tubao* se caracteriza por su pequeña escala, centrándose en la practicidad más que en la decoración. Un ejemplo de ello es el Fuerte Tai'an en la aldea Xiaohua, ciudad de Taihua, condado de Dada, que es un tipo común de fortaleza familiar. Fue construido a finales de las dinastías Ming y principios de la dinastía Qing por el clan Lin de la aldea, y posteriormente reconstruido y ampliado en el octavo año de la dinastía Qing (año 1858). Otro ejemplo es el Fuerte Zhenzhong en la aldea de Kuicheng, ciudad de Taihua, condado de Dada, un tipo de construcción conjunta realizada por diferentes apellidos. Fue edificado por primera vez en el séptimo año del período Qing Shunzhi (año 1650) por seis apellidos de la aldea: Lian, Chen, Fan, Lu, Wei y Lin, entre otros.

El Edificio Juxing en la aldea Shangyan, municipio de Wuling, condado de Dada, fue construido por primera vez en los años Xianfeng de la dinastía Qing (1851-1862). Se dice que este *Tubao* fue inicialmente construido por el aldeano Yang Zhan Yao durante el período Xianfeng, pero debido a recursos financieros insuficientes, la construcción fue abandonada a mitad de camino. Finalmente, se completó al unirse fuerzas con seis hogares de la aldea, por lo que se le llamó "Edificio Juxing" o también conocido como "Edificio Qixing".[11]



Fuente: La 44ª Conferencia del Patrimonio Mundial

6.2 La cultura geomántica del *Tulou*:

La cultura del pueblo Han estuvo profundamente influenciada por sus tradiciones agrícolas, otorgando especial importancia a la tierra y los hogares. Este énfasis no solo se reflejó en el deseo de una vida feliz y estable, sino también en la teoría y la práctica arquitectónica de la antigua China, que produjo numerosas obras clásicas en la construcción de viviendas, como el 《宅经》 (*Zhaijing*)¹⁸, entre otras. Esto muestra la importancia y la gran influencia de la arquitectura en la cultura Han. La arquitectura se considera una encarnación del espíritu nacional y refleja una profunda comprensión de la naturaleza y el medio ambiente.

El pueblo Hakka, como rama meridional de la etnia Han, heredó la cultura arquitectónica de las Llanuras Centrales y mostró gran reverencia y práctica en la teoría del *Feng shui*. Respetan especialmente al geomante Yang Yunsong, y todos los asuntos relacionados con la arquitectura y el *Feng shui* requieren la invitación previa de Dios del Señor Yang, lo que refleja la importancia que se les otorga a estas prácticas. Esto no solo muestra la herencia del pueblo *hakka* de las tradiciones arquitectónicas de la cultura *Han*, sino que también subraya la relevancia de esta cultura en su vida práctica.

La influencia del *Feng shui* en la arquitectura de los Hakka *Tulou* es sumamente significativa, especialmente en el singular tipo de construcción *Bagua*. En comparación con las Llanuras Centrales, la región Hakka ha conservado muchas formas arquitectónicas simbólicas del *Feng shui*, como los edificios *Bagua* redondos y cuadrados, diseñados de acuerdo con el patrón *Bagua*. Un ejemplo de ello son el Edificio Zaitian de Fuzhou y las Casas Antracita de Guangdong, que demuestran una fina aplicación de la estructura *Bagua*, reflejando los

¹⁷ <https://www.44whcfuzhou2021.cn/node/13599/20210720/60f5a64b2a558.shtml>

¹⁸ Una de las obras clásicas de la antigua China sobre *Feng shui* arquitectónico y la distribución residencial. Según la leyenda, su autor fue el erudito de *Yang Yun Song*. El libro detalla los principios fundamentales de la selección del emplazamiento residencial, el *Feng shui* arquitectónico y la distribución interior, con el objetivo de guiar a las personas en cómo aplicar los conocimientos del *Feng shui* durante el proceso de construcción y en la vida cotidiana, para alcanzar la buena fortuna y el bienestar.

conceptos de *Feng shui* de Cielo, Tierra, Viento y Céfiro. Además, el Edificio Zhencheng de Fujian, con su diseño circular y su disposición interior, también encarna plenamente la influencia del *Feng shui*. Estos edificios no solo demuestran la herencia de las teorías del *Feng shui*, sino que también incorporan elementos del paisaje, la topografía y el culto a la dirección en su construcción, reflejando la herencia y el desarrollo de la cultura Hakka a partir de la cultura Han de las Llanuras Centrales.

6.2.1 Emplazamiento del edificio

En la cultura china, la ubicación y la construcción de las viviendas se consideran asuntos de suma importancia, reflejando el profundo valor que los chinos otorgan a la tierra y a un hogar seguro. El hogar no solo es la base de la vida de un individuo, sino también el centro de las relaciones sociales y naturales. El culto a las montañas y al agua ocupa un lugar central en la teoría arquitectónica tradicional, y la esencia de la doctrina del *Feng shui* radica en este culto, lo que tiene una profunda influencia tanto en la arquitectura tradicional china como en el pensamiento arquitectónico hakka.

El pueblo hakka ha formado un profundo "complejo de montaña" a lo largo de su larga vida en las regiones montañosas, y este sentimiento también se refleja en su arquitectura y en su creencia en las deidades, como el culto al Rey de las Tres Montañas. La cultura arquitectónica del pueblo hakka, especialmente en los edificios *Tulou*, que se desarrollaron combinando la teoría del *Feng shui* con la de las montañas y el agua, muestra su singular interpretación de esta teoría y su profundo afecto por los elementos naturales. Aunque esta identidad cultural ha sido cuestionada por forasteros, refleja la complejidad y diversidad de la cultura hakka, y prueba el desarrollo único y la integración de esta cultura dentro del marco más amplio de la cultura han.[12]

En el proceso de selección del emplazamiento de un Hakka *Tulou*, los elementos de "montaña" y "agua" de la doctrina tradicional del *Feng shui* desempeñan un papel crucial. Estos elementos no solo afectan el estilo arquitectónico del *Tulou*, sino que también influyen

en su *Feng shui*, el confort de vida y la prosperidad de la familia.[13]

a. Elementos de montaña

En el *Feng shui* tradicional, es especialmente importante prestar atención al elemento de la montaña al elegir un emplazamiento. Según esta doctrina, un lugar ideal para una vivienda debe estar respaldado por un grupo de montañas en lugar de una montaña solitaria. Esto se debe a que las montañas pueden proporcionar una barrera natural para la residencia, ayudando a evitar el mal y a reunir el *Qi*. Específicamente:

-Rodeado de montañas: El *Feng shui* tradicional cree que la mejor ubicación para una casa es aquella rodeada por montañas. Este tipo de terreno ofrece una defensa eficaz contra desastres naturales, como las olas de frío y las inundaciones, así como contra amenazas humanas, como los bandidos. Estar rodeado de montañas no solo proporciona seguridad, sino que también simboliza la prosperidad de la familia.

-Fondo montañoso: Un fondo montañoso protege la vivienda del viento y el frío, aumenta el confort del hogar y se cree que contribuye a la estabilidad y prosperidad de la familia. La altura de las montañas brinda una protección significativa contra interferencias y peligros externos.

-Simbolismo: En el *Feng shui*, las montañas altas también simbolizan la prosperidad y estabilidad de la familia. Por lo tanto, elegir un terreno con un telón de fondo montañoso al seleccionar un emplazamiento no solo responde a necesidades prácticas de protección, sino que también está cargado de un profundo significado cultural y simbólico.

b. Elementos de agua

Además de las montañas, el agua también juega un papel fundamental en la selección del emplazamiento según la doctrina del *Feng shui*. La configuración de la fuente de agua tiene un impacto igualmente profundo en la armonía del entorno:

-La combinación de montaña y agua: Según el *Feng shui*, "el *Qi* de la montaña sigue al agua".

El agua, en forma de nubes y lluvia, es indispensable para la vida. Su presencia no solo está vinculada con la comodidad de la existencia diaria, sino que también influye directamente en la prosperidad de la familia y el desarrollo profesional. El flujo de agua activa el *Qi*, favoreciendo la circulación energética, lo cual es crucial para mantener un ambiente saludable y propicio para el bienestar.

-Funciones del agua: En el emplazamiento de los *hakka Tulou*, el agua no solo se utiliza para drenaje o para mejorar el entorno vital, sino que también tiene la función de optimizar el *Feng shui*. Las fuentes de agua cercanas al edificio, como ríos, arroyos o embalses, se consideran símbolos de riqueza y abundancia. Se cree que estas fuentes contribuyen al incremento del patrimonio familiar y favorecen la prosperidad continua.

-Principio del *Feng shui*: El concepto tradicional de *Feng shui* sostiene que "el agua frente a la puerta es fuente de prosperidad". Según esta visión, el agua tiene el poder de acumular riqueza para la familia y favorecer el desarrollo profesional de sus miembros. Por ello, al elegir el emplazamiento de un *Hakka Tulou*, los constructores suelen optar por terrenos cercanos a fuentes de agua o diseñan estanques frente al edificio, especialmente en las zonas montañosas donde el agua puede ser escasa.

La cultura del *Feng shui* en los *Tulou* se basa en principios antiguos como el *Yin y Yang*, *Bagua* y *Wuxing*¹⁹. Estos principios guían la selección de la ubicación más adecuada para construir viviendas que estén en armonía con el entorno natural y energético, lo que se conoce como la elección del *Yinzhai* (o "casa de sombra", se refiere al lugar donde está enterrado el difunto), que busca equilibrar el flujo de energía en el hogar.

El término *Feng shui* fue utilizado por primera vez durante la dinastía Jin por Guo Pu en su obra 《葬书》 (*El Libro del entierro*)²⁰, donde se describe cómo el *Qi* se dispersa con el viento

¹⁹ Wuxing (en chino 五行) es una forma de clasificar los fenómenos naturales, y sus interrelaciones, según la filosofía china tradicional. Los cinco elementos son: fuego (火, huǒ), agua (水, shuǐ), madera (木, mù), metal (金, jīn) y tierra (土, tǔ).

²⁰ Un libro describe sistemáticamente las antiguas teorías y prácticas chinas sobre el *Feng shui* funerario, analiza cómo elegir un cementerio y la relación entre los cementerios y la suerte de las generaciones futuras.

y se detiene al encontrar agua. Los antiguos practicantes de *Feng shui* reunían el *qi* para evitar que se dispersara, guiándolo para que permaneciera en un lugar, lo que dio origen al concepto de *Feng shui*. Esta idea refleja la conexión entre los elementos naturales y su influencia en el bienestar y la prosperidad. [14]

La teoría del *Feng shui* ha evolucionado desde la selección de la *Yinzhai* (residencia de sombra, relacionada con los entierros) hasta la *Yangzhai* (residencia de la luz, que corresponde a las viviendas habitadas). Los maestros de *Feng shui* utilizan lo que se denomina las cinco claves de la geografía, que incluyen "dragón, punta, arena, agua y dirección", lo que subraya la importancia de la topografía a la hora de elegir la ubicación de una *Yangzhai*. Estos elementos son fundamentales para asegurar que la casa esté alineada con las fuerzas de la naturaleza que favorecen la prosperidad y la estabilidad. Según el *El Libro del entierro*, las características esenciales de una ubicación ideal son las siguientes:²¹

-Casa con espaldas a la montaña y frente al agua: Las montañas en la parte trasera dan a las personas una sensación de seguridad y dependencia, mientras que el agua en el frente representa visión, sabiduría y una sensación de riqueza.

-Montañas que muestran formas claras de dragones: Es una forma geográfica que guíe la energía positiva hacia el hogar, proporcionando protección y estabilidad.

-Agua envolvente en forma de círculo: La corriente de agua debe rodear la casa de manera envolvente, como si formara un círculo. Esto se asocia con la acumulación de riqueza, ya que el agua simboliza la abundancia y la prosperidad.

-Sala luminosa y amplia para atraer bendiciones: Un terreno despejado y llano, sin obstáculos ni malas influencias, la casa debe tener espacios amplios y bien iluminados, lo que es considerado una forma de atraer bendiciones y oportunidades. [14]

Esta filosofía, profundamente enraizada en la cultura china, sigue guiando no solo la arquitectura de viviendas, sino también la planificación de ciudades y paisajes, reflejando la

²¹ Texto original: 龙要真，穴要的，砂要秀，水要抱，向要吉。 [14]

estrecha relación entre los seres humanos y su entorno natural.

En el mismo libro, se resumió de la siguiente manera:

La ubicación del *Yangzhai* debe seleccionarse cuidadosamente, siendo las montañas con la parte posterior cubierta por montañas y agua al costado las más adecuadas. La montaña debe tener la forma de un dragón con la cabeza levantada, y el agua debe adoptar una forma circular. Un salón espacioso y luminoso se considera un símbolo de bendición, y contar con una fuente de agua cercana se considera un símbolo de riqueza. Para evitar la mala suerte, no debe haber obstrucciones alrededor del edificio, de manera que las personas que vivan en su interior puedan disfrutar de buena suerte.²²
[14]

A partir de la discusión anterior, se puede observar que la teoría del *Feng shui* se fundamenta en la ley del *Yin Yang*, en la búsqueda del equilibrio entre ambos y en la armonización pacífica del entorno, en conformidad con la unidad del cielo y el hombre, con el fin de crear una situación favorable para la vida, de acuerdo con las leyes de la naturaleza. El concepto de *Feng shui* del pueblo hakka se refleja en la ubicación de los *Tulou* y en la disposición de su estructura interna.

La ubicación del *Tulou* debe determinarse mediante los pasos de 觅龙 (Nilong), 察砂 (Chasha) y 观水 (Guanshui) realizados por maestros de *Feng shui*.

-*Nilong*: Se debe observar la dirección de la cordillera y buscar un lugar donde el *Yin Yang* estén en armonía, un lugar donde todo en la naturaleza exista de manera perenne y esté lleno de vitalidad, destacando la interacción del aliento entre el cielo y la tierra, lo que permite que todo florezca.

-*Chasha*: Se debe observar las colinas o montañas que rodean la cordillera principal. El lado por el que procede el viento es la arena superior, la cual debe ser alta y capaz de proteger contra los vientos de las tormentas; el lado opuesto a la arena superior es la arena inferior,

²² Texto original: 阳宅须教择地形，背山面水称人心。山有来龙昂秀发，水须围抱作环形。明堂宽大斯为福，水口收藏积万金，关煞二方无障碍，光明正大旺门庭。[14]

que debe ser baja y capaz de proteger tanto al viento como al *Qi*.

-*Guanshui*: Se debe observar la fuente de agua y la dirección del río. La observación del agua sigue el principio de “abrir la puerta al cielo, cerrar la puerta a la tierra”. La puerta al cielo es el lugar donde se encuentra el agua, por lo que el acceso al lugar de agua debe ser adecuado. Los requisitos para que la puerta del cielo esté abierta incluyen la presencia de recursos financieros; el suelo debe ser estable para mantener la fuente de riqueza. Casi todos los Hakka *Tulou*, en los primeros días de su construcción, se erigen frente al agua.



Foto 8 *Tulou Cluster de Hukeng* , en el condado de Yongding, provincia de Fujian, geográficamente situado junto a las montañas y el agua.

Fuente: Yidu²³

6.2.2 Disposición del edificio

Según 《易经》 (*I Ching*), la construcción de la disposición de la imagen de *Bagua* debe seguir ciertos principios.[15] Entre los trigramas y trigramas, se coloca un tabique de ladrillo a prueba de fuego, el cual tiene un arco, permitiendo que todo el edificio esté conectado,

²³ <https://read01.com/zh-cn/Ny2Jag3.html>

formando un conjunto coherente. Los trigramas cerrados se encuentran en patios independientes, sin interferir entre sí. Al estar de pie frente al centro de la sala, se pueden observar los pozos izquierdo y derecho, así como las puertas laterales. Los dos pozos se encuentran en el edificio Zhencheng, junto al *Taiji*, en el ojo de pez del *Yin Yang*. La diferencia de altura entre las superficies del agua es de 2 metros, y la diferencia de temperatura del agua es de 2 grados.[16]



Foto 9 Edificio Zhencheng, pueblo de Hukeng, condado de Yongding, ciudad de Longyan, provincia de Fujian, China

Fuente: La Agencia de Noticias Xinhua²⁴

En el patio de un edificio cuadrado fluye agua, que sale por la puerta principal hacia el exterior. La puerta del vestíbulo exterior del edificio está situada en la posición Jia de la brújula, y el agua fluye desde la posición Yi de la brújula celeste. Hay un pozo a cada lado del atrio del edificio; el pozo de la izquierda es un pozo *Yin* y el pozo de la derecha es un pozo *Yang*.

²⁴ https://www.gov.cn/xinwen/2018-05/14/content_5290916.htm#1

En el *Feng shui*, este edificio está situado en el dragón que viene en la dirección de Wei, Kun y Shen; el terreno es amplio, como una vaca acostada en un pantano, por lo que se llama "vaca acostada en el punto de barro podrido". La dirección montañosa del edificio está orientada hacia la montaña de la derecha, que presenta buenos augurios, y la puerta central se abre en la posición de puerta gigante, lo que favorece la prosperidad de la riqueza y la población. La puerta exterior se abre en la dirección Jia como puerta auxiliar, lo que ayuda a los logros y méritos literarios. El agua fluye desde la posición Yi, y esta disposición también está en consonancia con el camino del *Feng shui*. [16]

El pozo de la izquierda se encuentra en la posición del trigramma Borgoña, que simboliza la forma de un cuenco superpuesto; el pozo de la derecha está en la posición del trigramma Xun, que simboliza dos *Yang* y un *Yin*. Por lo tanto, el pozo de la izquierda es un pozo *Yin* y el pozo de la derecha es un pozo *Yang*. Como el agua del pozo de la izquierda procede de un lodazal, no es apta para el uso. La puerta principal está protegida por las montañas que la rodean, con un pico afilado en el centro, que se dice que es la montaña Wenbi construida por Janes con tierra recogida a mano. El dolo está en la posición Jia y debería estar ligeramente a la izquierda, pero no debería formar un estado aislado. Aunque la situación general es inadecuada, con solo la montaña del caso y faltando el apoyo del pico detrás del caso, en general, este edificio es bastante completo en términos de riqueza, población y fortuna de relación humana.[16]²⁵

6.2.3 Rituales y oraciones tradicionales

El inicio de la construcción de una casa es un acontecimiento de gran importancia, y es necesario elegir un día propicio y adecuado para comenzarla. En cuanto a la decoración de *Tuqiang*, el último proceso de todo *Tuqiang*, consiste en revestir las paredes interiores y

²⁵ Texto original: 楼为未坤申方来龙结穴，入首粗壮似卧牛，为牛卧烂泥穴，穴在沼泽地中；酉山卯向，开中门为巨门，利财丁。甲方开外门为辅弼门，利文学功名。水从乙上流出，亦为合局；左水井为艮卦位，艮覆碗，三阴一阳；右水井为巽卦为，巽下两阳一阴。故左为阴井，右为阳井。左井不可用之故盖泉口从泥沼中出之故也；门前案山回护，正中有一尖峰，据传达室为简家用人工挑土筑成文笔山。卯禄在甲，宜偏左，并不可成孤恋状。加上只有案山而无案后之峰，形势略为不足；可谓“财丁贵”齐全。[16]

exteriores de *Tuqiang* con cal de machete una vez que la estructura se ha contraído y secado, lo cual ocurre aproximadamente dos o tres años después de la finalización de la construcción. Este proceso transforma el *Tuqiang* en un edificio de paredes blancas y tejas grises. Sin embargo, solo los *Tulou* más elaborados se someten a este acabado; en la mayoría de los casos, únicamente los marcos de puertas y ventanas se decoran con cal blanco, dejando visibles las innumerables capas de *Hangtu*, lo cual confiere a los *Tulou* una apariencia de sencillez, solidez y estilo profundo. Pero sin excepción, ya sea refinada o sencilla, el trabajo sólo puede comenzar después de la correspondiente ceremonia.[17][18]



Foto 10 Ceremonia antes de que los Hakka empezaran a construir el *Tulou*

Fuente: Centro Cultural del Distrito de Yongding²⁶

Los hakka *Tulou* no solo reflejan la vida armoniosa de una familia numerosa, sino que también encarnan profundamente las costumbres populares y las creencias religiosas del pueblo hakka.

²⁶ https://mp.weixin.qq.com/s/byk_E-L_-2lOmn0pf48bsA

En cuanto a las artes y la cultura popular, los hakka disfrutaban de una rica variedad de actividades culturales tradicionales, como las representaciones de *Shifan*, las ferias en templos, los espectáculos de marionetas y la ópera china, que reflejan una fuerte identidad cultural local. Las canciones populares, transmitidas desde tiempos antiguos con melodías melodiosas, expresan el profundo amor de los hakka por la vida y sus expectativas de futuro. Festividades tradicionales, como la Fiesta de la Primavera y el Festival de Otoño, no solo mantienen vivas las antiguas costumbres del pueblo hakka, sino que también reflejan su anhelo y búsqueda de la felicidad.

En cuanto a las creencias religiosas, los *Tulou* y los pueblos hakka suelen rendir culto a diversas deidades, lo que refleja la integración de múltiples culturas. Por ejemplo, el Shigandang, un objeto de protección contra el mal originario de la dinastía Tang, se utiliza frecuentemente en la construcción de *Tulou*, colocando tallas de piedra en direcciones desfavorables para neutralizar el mal o pintando patrones de *Bagua* en las paredes exteriores de los edificios, así como leones de piedra en las crestas de los tejados. Además, cada aldea cuenta con un templo de la tierra, y durante festividades como los días 1 y 15 del primer mes del calendario lunar, los hakka veneran al dios de la tierra y rezan por una cosecha segura y fructífera.

Mazu, considerada la “diosa todopoderosa” por los habitantes de la costa sureste, también es venerada por los hakka de los *Tulou*, lo que demuestra la amplia aceptación y el respeto del pueblo hakka hacia la religión. Estas creencias religiosas diversas y las abundantes actividades folclóricas resaltan la profundidad de la cultura hakka y su encanto único en cuanto a folclore y creencias.

6.3 Cultura del clan Hakka

Los hakka son un subgrupo de los chinos han, cuya principal área de concentración se encuentra en el triángulo formado por el oeste de Fujian, el sur de sur de la provincia de

Jiangxi y el norte de Guangdong. Esta comunidad se formó a partir de la integración de los han que emigraron hacia el sur con los aborígenes locales de las zonas colindantes con Fujian, Guangdong y sur de la provincia de Jiangxi. Los hakka poseen sus propios dialectos, culturas e identidades, que los diferencian de otras ramas de los han.

Con un linaje ortodoxo han en las Llanuras Centrales y una elevada civilización agrícola, los hakka, que han permanecido al margen del imperio durante largo tiempo, han intentado, por un lado, preservar las tradiciones culturales de las Llanuras Centrales como forma de satisfacer su nostalgia y diferenciarse de los aborígenes del sur. Al mismo tiempo, en el curso de sus prolongadas interacciones con estos aborígenes, los hakka también intercambiaron influencias y desarrollaron un sistema cultural regional distintivo. Los *Tulou*, con su diseño meticulosamente planificado, son representaciones arquitectónicas de los ideales culturales que el pueblo hakka ha conservado y adaptado a su nuevo entorno.

Los *Tulou* se concentran principalmente en el sur de Gannan, el oeste y el sur de Fujian, y el norte y el este de Guangdong, constituyendo el centro de concentración del pueblo hakka. Como residencia comunitaria de los hakka que viven en clanes, los *Tulou* reflejan, desde su construcción, disposición y decoración, hasta en la exhibición de su folclore, no solo la continuidad de la cultura hakka de las Llanuras Centrales, sino también el carácter local que ha adquirido dicha cultura. Por ello, los *Tulou* se asocian frecuentemente con la identidad hakka en la expresión popular. Estas viviendas concentran los principios centrales del confucianismo, el budismo y el taoísmo de la civilización agrícola tradicional china, y representan la manifestación física de la cultura del pueblo hakka en una región específica.

[16]

En el pensamiento tradicional chino, el núcleo de las ideas proviene del confucianismo, el budismo y el taoísmo. Los valores confucianos de lealtad, piedad filial, benevolencia y rectitud constituyen las normas éticas para las relaciones humanas en la cultura agrícola; la concepción taoísta de la "armonía entre el hombre y la naturaleza" representa la armonía entre los seres humanos y la naturaleza; y la idea budista de "causa y efecto" también actúa como una restricción divina sobre el comportamiento humano. Estas tres escuelas de

pensamiento se centran en la ordenación de los tres talentos: la naturaleza, la tierra y el hombre.

En la cultura hakka, el *Tulou* representa un producto de la tradición familiar de convivencia. La mayoría de los Hakka *Tulou* son edificados por una o varias familias. Por ejemplo, el conjunto *Tulou* de Tianluokeng en el condado de Nanjing fue construido por la familia Huang, el edificio Zhencheng en el condado de Yongding por la familia Lin, Dafu Di en el condado de Yongding por la familia Wang, y el edificio Hegui en el condado de Nanjing por la familia Jane. La disposición espacial de los edificios *Tulou* refleja también la cultura familiar basada en lazos de sangre y vecindad, destacando el orden jerárquico y la piedad filial propios del confucianismo.[16]

La piedad filial, como uno de los elementos centrales del confucianismo, incluye el respeto y apoyo a los mayores, el recuerdo de los ancestros fallecidos, la continuidad del linaje familiar y el honor a los antepasados. Esto se manifiesta en la cultura familiar mediante la construcción de santuarios y salas ancestrales, el alojamiento de los ancianos en la parte trasera del *Tulou* y la creación de escuelas. Existen dos tipos de santuarios o salas ancestrales en la cultura hakka: unos construidos fuera del *Tulou* y otros dentro del mismo. Los santuarios construidos fuera del *Tulou* son típicos de los pueblos hakka antiguos, profundamente influenciados por el confucianismo de las Llanuras Centrales, que promovía la separación entre seres humanos, espíritus ancestrales y deidades. La solución del pueblo hakka a este dilema fue elegir una buena ubicación en *Feng shui* y construir un *Tulou* para adorar a sus antepasados y orar por la bendición de su familia. Esta forma de *Tulou* se llama Edificio Wufeng.

El *Citang* ancestral de la familia Lin en la aldea Hongkeng del condado de Yongding, por ejemplo, se construyó en la ladera septentrional de la aldea, orientado al suroeste con vistas a las montañas y aguas que simbolizan la protección del clan. Dentro del *Tulou*, los *Citang* ocupan el eje central del edificio, normalmente en la sala principal. Varios otros ejemplos similares incluyen: el centro del Wuxinglou de la aldea ShangYang del condado de Yongding es la Alcoba, que es el *Citang*, y el Chengqilou de la aldea Gaobei del condado de Yongding

tiene cuatro edificios redondos que se rodean, con el *Citang* en el centro, y todas las habitaciones están orientadas hacia el *Citang*. La disposición del *Citang* refleja el respeto de los hakka hacia sus ancestros y simboliza la centralidad de la familia. El concepto de “el centro es noble” se encuentra representado en eso, lo cual simboliza el respeto a los ancestros y la preservación de la cultura confuciana en cada *Tulou*.

El *hakka Tulou* simboliza y facilita el estilo de vida unido y armonioso del pueblo hakka, donde el apoyo mutuo y la cooperación son fundamentales. Dentro de estos edificios, las familias resuelven problemas colectivamente y se prestan ayuda en tiempos de necesidad, generando una solidaridad que trasciende el propio edificio para abarcar también a aldeas vecinas. La cultura de respeto a los ancianos y de honra a los antepasados es evidente en el uso del *Citang*, el salón ancestral, donde cuelgan retratos de los antepasados para mostrar reverencia y gratitud. Los hakka se reúnen el día 1 y el 15 de cada mes lunar para rendir homenaje a sus ancestros, y en la Fiesta de la Primavera, el patriarca lidera las ceremonias de veneración familiar.

Además, el cuidado de los ancianos es un deber profundamente respetado. Los hijos asumen la responsabilidad de atender a sus padres en su vejez, asegurando que puedan vivir sus últimos años con dignidad y tranquilidad. Estos edificios no sólo sirven como hogares físicos, sino también como centros espirituales que reflejan y preservan los valores sociales y culturales del pueblo hakka. El *Hakka Tulou* es, por tanto, un símbolo material de su herencia y un pilar de sus relaciones interpersonales, ya que alberga tanto el aspecto tangible de la vida en comunidad como los ideales éticos y espirituales que fortalecen sus lazos familiares y sociales.

Para asegurar la continuidad de la familia, la cultura familiar agraria enfatiza la educación de las generaciones futuras, de modo que puedan honrar a sus antepasados. Cada aldea *hakka* con numerosos clanes cuenta con su propia escuela, y en los *hakka Tulou*, el *Citang* y la escuela están integrados. En el tipo de Edificio Wufeng, las habitaciones a ambos lados de la sala delantera suelen utilizarse como Sishu (escuela privada de la familia).

Además del Edificio Wufeng, los tipos comunes de los hakka *Tulou* son el *Tulou* redondo y el *Tulou* cuadrado. Entre ellos, también se puede mostrar claramente las ideas centrales de la cultura tradicional china taoísta y confuciana en su forma y uso. En cuanto a su estructura exterior, la mayoría de los *Tulou* adoptan una forma circular, que simboliza el concepto taoísta del "Dao": el círculo representa la armonía y la eternidad de la naturaleza. Esta forma redonda no solo se alinea con la idea taoísta de "la fuerza y la suavidad se complementan y se equilibran mutuamente", sino que también expresa el anhelo de armonía familiar y desarrollo sostenible. El diseño interior "hueco" del *Tulou*, junto con el estanque de media luna ubicado frente al edificio, encarna la veneración taoísta por el "agua", considerada una fuente vital en el taoísmo. El agua, vista como origen de la vida, simboliza una prosperidad y vitalidad continuas.[19][20]

Desde la perspectiva de la cultura confuciana, el orden interno del *Hakka Tulou* demuestra el concepto de jerarquía y orden en la relación entre superiores e inferiores. La estructura de los *Tulou* se organiza con un eje central que sirve como núcleo, alrededor del cual se disponen de manera simétrica el edificio principal, la puerta, el vestíbulo y los edificios auxiliares. La disposición de los *Tulou* suele centrarse en el *Citang* o casa principal, con las habitaciones circundantes organizadas según el estatus de los miembros del clan, lo cual refleja el sistema jerárquico confuciano que establece el respeto a las figuras de autoridad y mayores. Los patios, organizados alrededor de la sala principal, refuerzan la idea de unidad y cohesión familiar, lo que se considera una de las virtudes esenciales del pueblo hakka. Este diseño respeta a los ancianos, fomenta la armonía familiar y permite que los miembros de distintas generaciones convivan en un ambiente ordenado. Además, el concepto de "el centro es noble" se encuentra representado en la posición central del *Citang*, lo cual simboliza el respeto a los ancestros y la preservación de la cultura confuciana en cada *Tulou*. [19]

En cuanto a la educación y la moralidad, las coplas y lemas en los hakka *Tulou* reflejan la tradición confuciana de "honrar la literatura y la educación". En construcciones como Zhenchenglou en el condado de Yongding, provincia de Fujian, la forma del edificio, que imita un sombrero de funcionario, simboliza la aspiración hacia el éxito profesional y la valoración

de la educación. La disposición de astas de piedra y el contenido de las coplas en estos *Tulou* expresan la firme exigencia del pueblo hakka respecto a la integridad de sus descendientes. Ejemplos de estas coplas incluyen: 振纲立纪, 成德达材 (Defender los principios, establecer la disciplina y volverse virtuoso y talentoso) y 天有日方明, 人无信立 (El cielo brilla cuando hay sol, y una persona no puede permanecer sin fe), los cuales resaltan la importancia del carácter moral, la honestidad y el compromiso con el desarrollo de una conducta virtuosa.



Foto 11 *Tulou* agrupación de Hukeng en el condado de Yongding, provincia de Fujian²⁷

Fuente: China science communication

En el Edificio Yijing en la aldea de Yang, condado de Yongding, frente a la puerta principal hay un patio con dos escuelas, una de literatura y otra de artes marciales, situadas a cada lado. Las coplas en estos hakka *Tulou* reflejan la importancia que los hakka otorgan a la educación de las futuras generaciones. En el Edificio Zhencheng en la aldea de Hongkeng, también en Yongding, las coplas en la puerta principal rezan: “振纲立纪, 成德达材” (Defender los principios, establecer la disciplina y volverse virtuoso y talentoso). Las coplas de las salas secundarias incluyen frases como “干国家事, 读圣贤书” (Ocuparse de los asuntos del país y

²⁷ <https://cloud.kepuchina.cn/newSearch/imgText?id=6864611257428656128>

leer los libros de los sabios), mientras que la copla de la sala derecha dice: “振刷精神担当宇宙，成些事业垂裕后昆” (Revitalizar el espíritu y asumir grandes responsabilidades; lograr éxitos y beneficiar a las futuras generaciones). Además, una copla más extensa en la sala posterior declara: “振作那有闲时，少时、壮时、老年时，时时努力；成名原非易事，家事、国事、天下事，事事关心” (No hay tiempo libre para prosperar; ya sea joven, adulto o anciano, siempre hay que esforzarse; lograr renombre no es fácil, y uno debe preocuparse por los asuntos familiares, nacionales y mundiales).[16]

Estas coplas reflejan la adhesión del pueblo hakka a los valores confucianos y a la ética feudal, transmitiendo normas familiares, valores de esfuerzo y responsabilidad, y alentando a las futuras generaciones a la dedicación y al compromiso con la comunidad y el país.

Además, muchas de estas construcciones conservan detalles de gran valor estético, como vigas talladas y pinturas que no solo embellecen los espacios, sino que también reflejan la profunda conexión del pueblo hakka con sus tradiciones culturales y su sentido de belleza y armonía. Todo esto, combinado con el entorno natural circundante, demuestra cómo el estilo arquitectónico de los *Tulou* está en perfecta sintonía con el paisaje, lo que refuerza la noción de que la arquitectura no solo cumple una función práctica, sino que también sirve como una manifestación de los valores y creencias del pueblo hakka.

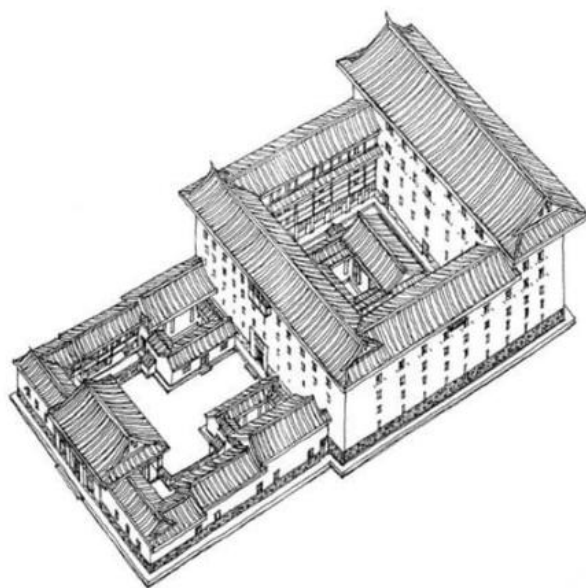


Foto 12 Condado de Yongding, municipio de Gaopi, pueblo de Yang, «Edificio de Yijing»²⁸

Fuente: Chinese national geography

7. Materiales tradicionales de *Tulou*

A la hora de llevar a cabo los trabajos de sustitución y restauración in situ necesarios, era fundamental realizar la "restauración con materiales originales y mano de obra original" en una fase temprana. Por lo tanto, comprender la relación entre la resistencia, las proporciones de las materias primas y los métodos de construcción es esencial no solo para el estudio de la historia de los materiales de construcción, sino también para el análisis de la integridad y fiabilidad históricas.

En el caso de hakka *Tulou*, los materiales de construcción tradicionales toman el papel protagonista. Los morteros de enlucido tradicionales suelen estar compuestos por aglutinantes (cal, cemento natural), áridos (piedra caliza, arena) y aditivos (fibras, promotores de adherencia). De estos, los morteros de cal aérea se utilizan ampliamente en todo el

²⁸ <http://www.dili360.com/gallery/133.htm>

mundo. Para superar sus desventajas (como el largo tiempo de endurecimiento, la resistencia mecánica relativamente baja, la alta absorción de agua y la alta retracción), la cal aérea debe modificarse con otras sustancias como almidón, cenizas volantes, fibras, proteínas, grasas, entre otras. Además, se emplean modernos agentes aireantes, hidrófobos e hidrófugos. [21]

Los *Hangtu* se utilizan ampliamente para construir refugios, muros o castillos. El uso de materiales de tierra virgen ofrece numerosas ventajas en comparación con algunos materiales de construcción modernos (como el hormigón y el acero), tales como un menor consumo de energía, una mínima generación de residuos secundarios, emisiones limitadas de gases de efecto invernadero y una mejor calidad del aire interior. La *Huangtu* se puede fabricar mezclando materiales aglutinantes (como cal), áridos (como arcilla y arena) y agua para alcanzar la resistencia deseada del material tras la compactación y el curado.

En el pasado, solo las familias adineradas podían permitirse el lujo de utilizar cal para incrementar la resistencia de la *Hangtu* en todo el muro, mientras que las familias más pobres solo podían utilizar cal en los cimientos, en China. La mezcla contiene diversos aditivos, como sopa de arroz glutinoso o sol-gel para mejorar la adherencia, aceite de tung para conferir propiedades impermeabilizantes o sangre de cerdo para acelerar el fraguado y endurecimiento.

7.1 *Shengtu* y *Sanhetu*

El *Hangtu* es una forma más natural de hormigón. Este tiene un principio de cementación similar al del hormigón ordinario, en el sentido de que tanto los áridos gruesos como los finos se unen mediante un aglutinante. El cemento, que se patentó como invento de la Revolución Industrial, forma parte del arte más amplio del hormigón, o se considera un nuevo material para el *Hangtu*, si se ve cronológicamente como su sucesor.



Foto 13 Mezcla de materiales para hacer *Tuqiang*

Fuente: Elaboración propia

Los hakka *Tulou* se construyen con diversos materiales, casi todas tierras. Los materiales utilizados en la construcción de los *Tulou* incluyen piedras de los lechos de los ríos locales, arcilla, tierra de arrozales, madera y/o *Shengtu*. El *Shengtu* es un material compuesto de arcilla, arena y cal, a menudo denominado *Hangtu*. Algunos estudios indican que a algunos sistemas de muros se les añadía arroz glutinoso y azúcar moreno, y que los *Tulou* más grandes se construían frecuentemente con esta mezcla de materiales. Sin embargo, se han encontrado algunos *Tulou* más pequeños contruidos completamente con granito cortado. [22]

El concepto de *Shengtu* en bruto está relacionado con el *Shutu*, que hace referencia a la tierra removida y apta para el cultivo, así como a la tierra cocida y madurada. La tierra cruda, por su parte, es la naturaleza misma, resultado de decenas de miles de años de acumulación y formación del suelo original, también conocida como tierra muerta o tierra pura. Esta es de color uniforme, con una estructura fina, textura compacta y pura. Teóricamente, los acabados realizados con materiales inorgánicos serán más resistentes, por lo que la tierra arada no es tan adecuada para la construcción como la tierra cruda.

Estrechamente relacionados con la tierra original están los términos *Construcción con tierra cruda*, *Shengtu* y *Hangtu*. En la antigüedad, todos los edificios contruidos con tierra podían considerarse *Tulou* crudos, aunque la triple tierra se haya fermentado y madurado hasta

cierto punto. Los edificios de *Tuqiang*, contruidos sobre esta base, siguen siendo objetivamente *Tulou* crudos. Un ejemplo de esto es el hakka *Tulou*, una residencia de Fujian que se encuentra entre los edificios tradicionales de *Hangtu* de China, y que también se conoce como '*Tulou* crudo'. Los *Tulou* crudos en China probablemente han pasado por varias etapas, como las viviendas en cuevas, los hornos, el *Hangtu* y el 土砖 *Tuzhuan* (adobe).

Sanhetu, como su nombre indica, es una configuración de tres sustancias utilizadas en materiales de construcción. En diferentes dinastías y regiones, los ingredientes varían. Durante la dinastía Ming, el *Sanhetu* estaba compuesto por cal, polvo de cerámica y grava; en la dinastía Qing, además de cal, arcilla y arena fina, el *Sanhetu* también podía incluir cal, escoria y arena. Entre estos materiales, la cal es indispensable. Por lo general, se refiere a la construcción del material *Shengtu*, compuesto por una mezcla de loess, cal y arena de río.

El método de producción consiste en preparar las tres materias primas en una proporción determinada, luego se refinan constantemente con bambú o un mazo, se tornean, y se apilan durante un periodo de tiempo para permitir su fusión y envejecimiento. Especialmente, la cal y el loess siguen un proceso de evolución de crudo a cocido. Es importante controlar el tiempo de la mezcla antes de que endurezca, que puede ser de algunos días o más. Después, se refina y bate nuevamente. Cuanto más largo y repetido sea este proceso de refinado y batido, mejores serán los resultados. Además, se debe controlar la sequedad y la humedad, lo que se puede comprobar amasando la mezcla en la mano, asegurándose de que se mantenga suelta. [23]



Foto 14 Mano en una bola, amasando la suelta

Fuente: Elaboración propia

El *Sanhetu*, una mezcla de arcilla, cal y arena, se utilizaba ampliamente en la antigua China para la construcción de murallas, enterramientos e instalaciones hidráulicas debido a sus magníficas propiedades mecánicas. Se ha encontrado almidón en muestras de mortero de tumbas de la dinastía Han Oriental (25-220 d.C.) en Xuzhou, provincia de Jiangsu. Los aditivos orgánicos como el arroz glutinoso, el aceite de tung, las claras de huevo, el azúcar, la sangre y el jugo de vid vegetal se utilizaban para mejorar las propiedades mecánicas de las arcillas *Shengtu* hace aproximadamente 1500 años. Tras la Segunda Guerra del Opio (1856-1860 d.C.), comenzó la construcción de baterías de defensa marítima en las zonas costeras de China, y también se construyeron baterías de defensa marítima en utilizando

Shengtu con arroz glutinoso²⁹. [24][25]

Para obtener los resultados del estudio sobre la posibilidad de *Sanhetu* como material de reparación, se llevó a cabo un análisis más detallado de los casos existentes. En primer lugar, se llevó a cabo un análisis de las propiedades mecánicas del fuerte prismático de la puerta de la ciudad del antiguo batería de Tianjin Dagu, y se descubrió que la fórmula de arcilla, cal y arena para la defensa marítima era de 1:2:1, mientras que la fórmula de arcilla y cal para el *Tubao* 'Wei' era de 3:1. Asimismo, se realizó un análisis comparativo de las propiedades mecánicas del fuerte de defensa marítima del antiguo *Tubao* de Jiangsu Jiaoshan en comparación con el fuerte simulado de defensa marítima de tres puntas, fabricado mediante el proceso tradicional. Los resultados mostraron que la fórmula de arcilla, cal y arena para la defensa marítima era aproximadamente de 4:3:3. Estos resultados se aplicaron a la restauración de este *Tubao* y se obtuvieron buenos resultados.

Se llevó a cabo también un estudio sobre el *Tubao* Prismático de Chengmen en Xiaoshigang, Huangshan, provincia de Jiangsu. Tras el análisis, se determinó que la fórmula de arcilla *Shengtu* y cal era de 3:1, con una adición de sopa de arroz glutinoso de aproximadamente el 0,5%, lo que permitió mejorar la fórmula de restauración de la fortaleza. Además, se investigaron la fórmula y el proceso de construcción de tres baterías de defensa marítima de arcilla *Shengtu* en la desembocadura del río Minjiang, en Fujian, así como las propiedades físicas, mecánicas e impermeables de cuatro baterías de defensa marítima de arcilla *Shengtu* en Guangzhou.

Estos estudios demuestran que existen diferencias en las fórmulas de las materias primas y los procesos de construcción de las baterías de defensa marítima de *Sanhetu* en todo el mundo, lo que resulta muy útil para comprender las características de las baterías de defensa marítima de *Sanhetu* y puede servir de apoyo en las obras de restauración necesarias. Sin embargo, existen pocos informes sobre las fortalezas costeras de defensa marítima de

²⁹ En *Compilación esencial de la defensa costera* registra el proceso de producción del fuerte de defensa marítima triangular de arroz glutinoso. La proporción de cal, arcilla y arena utilizada en la construcción del fuerte de defensa marítima triangular es de 5:3:2. Mezclándolo bien con sopa de arroz glutinoso, se machaca. Con un espesor de veinte a cinco centímetros, se dice que el producto final es tan duro como el hierro.

Shengtu en Zhejiang. En el estudio se recogieron siete muestras de *Sanhetu* de los emplazamientos de la Fortaleza Haifeng de Pinghu, la Fortaleza Haifeng de Ningbo y la Fortaleza Haifeng de Wenzhou, en la provincia de Zhejiang, y se investigaron aspectos como la dureza superficial, la resistencia a la compresión, la densidad y la porosidad, la composición, la distribución de arena y tierra, los aditivos orgánicos, la morfología, la resistencia al envejecimiento y las propiedades de absorción de agua capilar de las muestras de *Sanhetu*. Esto permitió comprender mejor las propiedades de las fortalezas de defensa marítima de *Sanhetu*. [26]

7.2 Sacarosa

En la antigua China, el *Hangtu* se utilizaba ampliamente en la construcción de murallas, tumbas y viviendas. El exterior de un *Tulou*, por lo general, está compuesto por una base de piedra, *Hangtu* y paredes grises, mientras que el interior del edificio se divide en cientos de pequeñas habitaciones mediante una estructura tradicional china de madera. Se dice que, para reforzar el *Hangtu* exterior y los muros grises, los antiguos añadían pasta de arroz glutinoso a las materias primas. Existe un registro detallado sobre el método de producción y el rendimiento del mortero de arroz glutinoso³⁰: una parte de cal se mezcla con arena de río, luego se añaden dos partes de tierra, con arroz glutinoso, jugo de cabra melocotón y vid, y así, después de la construcción de un fuerte, nunca se deteriora, conocido como *Sanhetu*. [27]

La Sacarosa, el primer registro escrito del azúcar moreno aparece en la dinastía Han, cuando Yang Fu se presenta en su libro 《异物志》 (*Yiwuzhi*): con más de tres zhang de longitud, es bastante similar al bambú; al ser cortado y consumido, es dulce; su jugo extraído es como miel o melaza. Se le llama azúcar.³¹ [28] Este relato describe el proceso de extracción y transformación de la caña de azúcar en un producto similar a la melaza, el precursor del

³⁰ Texto original: 灰一分入河砂，黄土二分，用糯米、羊桃藤汁和匀，经筑坚固，永不隳坏，名曰三合土。 [27]

³¹ Texto original: 长丈余颇似竹，斩而食之既甘，榨取汁如饴饧，名之曰糖。 [28]

azúcar moreno. Sin embargo, el fenómeno de golpear el suelo de un *Tulou* con azúcar de caña ha sido confirmado por el propietario de la edificio Yude (una casa residencial). Este suelo es tan duro y plano que puede durar muchos años, y se necesita un martillo para abrirlo[21]

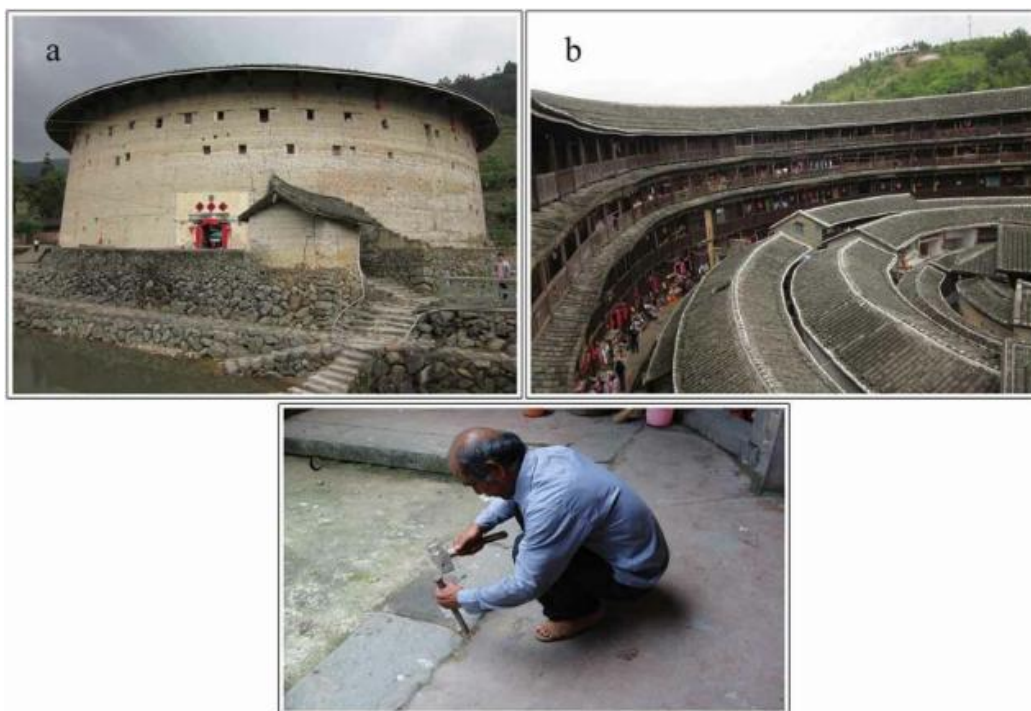


Foto 15 (a)Edificio Yuchang (1368-1644 d.C.); (b) Edificio Chengqi (1628-1709 d.C.); (c) edificio Yudelou (una residencia privada, de más de 100 años de antigüedad)

Fuente: New insight into the craftsmanship of sucrose-modified rammed earth-lime materials[21]

7.3 Sangre

El mortero tradicional oriental de cal sanguínea presenta mejores propiedades de adherencia, impermeabilización, resistencia a la intemperie y decoración en comparación con el mortero de cal común, además de curarse rápidamente. Estas características constituyen una gran ventaja para la restauración de edificios y monumentos antiguos. La sangre de diferentes animales tiene poco impacto en el rendimiento del mortero, la principal diferencia radica en el material inorgánico utilizado y el proceso de fabricación. Según las pruebas de rendimiento,

el mejor mortero se obtiene utilizando sangre y Ca(OH)_2 como materias primas, mediante el proceso tradicional. El buen rendimiento del mortero de cal sanguínea puede atribuirse a las proteínas contenidas en la sangre. A capa superficial, estas proteínas controlan el crecimiento de los cristales y forman una capa densa en la superficie, alterando las propiedades superficiales del mortero endurecido. En la capa intermedia, actúan como agentes aireantes, mejorando las propiedades de intemperización del mortero. En la interfaz entre el mortero y el soporte, las propiedades de autoadhesión y retención de agua de las proteínas mejoran la fuerza de adherencia.[29]

Existe un proceso detallado y preciso sobre cómo se prepara el plasma sanguíneo:

Primero, se mezcla una cantidad de sangre fresca (sin anticoagulante) a fondo con agua de cal (5% p/p), y la mezcla se coloca en un baño de agua a 30 °C durante 3 horas. Esta mezcla se denomina "hemoglobina", y la proporción entre sangre y agua de cal es de 10:7 (p/p). A continuación, se añaden cantidades adecuadas de Ca(OH)_2 , CaCO_3 o SiO_2 al "hemogel" obtenido, y se mezcla bien. La proporción entre la cola de sangre y el material inorgánico añadido es de 1:1, lo cual se elige en función de la trabajabilidad del mortero fresco y la experiencia de los albañiles tradicionales. Finalmente, la mezcla se almacena en un recipiente sellado durante 24 horas antes de su uso. [29]

Bajo tal mecanismo químico, puede dar un resumen y una explicación más sistemática del mecanismo de acción del mortero de cal sanguínea. Las proteínas de la sangre reaccionan con el Ca(OH)_2 , densificando el mortero. Bajo un pH elevado, las proteínas se modifican, exponiendo grupos hidrófobos y adquiriendo una naturaleza anfífilica. Debido a la naturaleza anfótera de estas proteínas, se adhieren a la superficie del mortero, lo que reduce la tensión superficial y acelera la evaporación del agua. Un exceso de proteínas en la superficie y cerca de ella atrae Ca^{2+} hacia la superficie, creando un gradiente de concentración iónica dentro del mortero. Esto también provoca que la humedad se dirija hacia la superficie, lo que acelera aún más la evaporación del agua del mortero.

Además, el Ca(OH)_2 densifica el mortero durante el curado, mientras las proteínas estabilizan

burbujas de aire, creando poros que mejoran la resistencia a la intemperie. En la interfaz con el sustrato, la sangre modificada facilita la adherencia del mortero, evitando la rápida absorción de humedad y garantizando una unión firme.

7.4 Arroz glutinoso

Se dice que la introducción del arroz glutinoso en los materiales de construcción comenzó con el proyecto de la Gran Muralla durante la dinastía Qin. En las dinastías Song y Ming, la cal de arroz glutinoso se utilizó como material cementante en tumbas y torres de ladrillo. Especialmente durante la dinastía Ming (1368-1644), esta tecnología quedó registrada en detalle en la famosa obra científica y tecnológica *Tiangong Kaiwu* compilada por Song Yingxing.[27][30]

La pulpa de arroz glutinoso, como biopolímero, puede usarse como agente molde para la mineralización del carbonato cálcico, regulando tanto la morfología como la estructura de los cristales de carbonato cálcico. Los cristales de carbonato cálcico generados mediante este proceso, con la participación del jarabe de arroz glutinoso, son de menor tamaño y presentan una estructura más densa, lo que los hace más finos y compactos en comparación con aquellos generados sin la intervención de la pulpa de arroz glutinoso.

La práctica de la cal de arroz glutinoso está bien documentada en el 《工程做法》 (*Gongcheng Zuofa*)³², un importante documento chino antiguo sobre tecnología y técnicas de construcción. Este manual proporciona orientaciones específicas sobre las operaciones y procesos reales de construcción de edificios. En el mortero de cal que incorpora pulpa de arroz glutinoso, las partículas de pulpa de arroz y carbonato cálcico se distribuyen de manera uniforme y se intercalan entre sí para formar una estructura compuesta orgánica/inorgánica. Esta estructura mejora la dureza y resistencia del mortero. Estructuras similares, compuestas por componentes orgánicos e inorgánicos, son características de materiales

³² 《工程做法》 (*Gongcheng Zuofa*) y 《营造法式》 (*Yingzao Fashi*) de la dinastía Song son los dos únicos libros antiguos sobre normas arquitectónicas promulgadas por el gobierno en la antigua China. Desempeñan un papel importante en la historia de la arquitectura china antigua.

biomineralizados como huesos, dientes y conchas.[31][32]

El proceso de endurecimiento del mortero de cal viva con pulpa de arroz glutinoso puede compararse con el proceso de biomineralización natural. La pulpa de arroz glutinoso no solo regula la cristalización del carbonato cálcico, sino que también se combina con el carbonato cálcico generado para formar una estructura compuesta, lo que mejora la resistencia y tenacidad del mortero. Pruebas modernas de simulación han demostrado que, en condiciones de humedad, la resistencia posterior de la cal de arroz glutinoso es significativamente superior a la de la cal ordinaria. [33]



Foto 16 Mortero de arroz glutinoso en la Gran Muralla

Fuente:Ling bocheng³³

7.5 Clara de huevo

En China, la adición de componentes proteicos en el mortero de construcción tiene una historia muy antigua y una amplia aplicación. Estos resultados también pueden proporcionar un diseño para la conservación y restauración de edificios históricos.

Las proteínas de la clara de huevo poseen una excelente capacidad para formar y estabilizar espuma, lo que ayuda a mantener las burbujas dentro del mortero. Esto evita la migración de

³³ <https://www.gujianchina.cn/news/show-10528.html>

humedad y reduce el riesgo de daños por congelación en condiciones frías. Además, la clara de huevo tiene una notable capacidad de adherencia, lo que mejora la unión entre los componentes del mortero. También regula la morfología de los cristales de carbonato cálcico en el mortero, formando una estructura de red tridimensional similar a un gel, lo que aumenta la resistencia estructural del material.

La clara de huevo contiene lisozima y otras sustancias con propiedades bactericidas, lo que contribuye a la anticorrosión del mortero y a la estabilidad de la estructura compuesta orgánico-inorgánica. Además, forma una película hidrófoba que proporciona propiedades impermeabilizantes, mejorando la capa protectora contra el agua, lo que es especialmente útil en la construcción para aumentar el rendimiento de la impermeabilización.

Estos efectos se deben principalmente a la actividad interfacial de sus cadenas de péptidos proteicos y la biomineralización, que juntos fomentan la nucleación, el crecimiento y la regulación micromorfológica de los cristales inorgánicos en el mortero. Las proteínas de la clara de huevo mejoran las propiedades del mortero mediante mecanismos tanto interfaciales como de biomineralización. La actividad interfacial de las cadenas de péptidos proteicos influye en la nucleación y el crecimiento de los cristales inorgánicos, mientras que la biomineralización regula la morfología y la microestructura de los cristales de carbonato cálcico a través de la interacción entre moléculas orgánicas e iones inorgánicos, mejorando así el rendimiento general del mortero. [34]

8. Hakka *Tubao* y Hakka *Tulou*

Las casas hakka adoptan dos formas principales: una es la gran casa con patio y la otra se refiere a la expresión arquitectónica de la idea.

En el caso de los *Tulou* defensivos, la elección de su ubicación está influenciada por diversos factores de seguridad. Se suelen situarse en zonas llanas y abiertas al borde de colinas bajas, con las montañas circundantes actuando como barreras naturales. La zona plana y abierta

ofrece varias ventajas: facilita el acceso al agua, lo que garantiza el suministro en el *Tulou*; en este sentido, es favorable para el cultivo de cosechas; permite evitar que el enemigo ataque desde una posición elevada; y proporciona una buena visibilidad para detectar al enemigo a tiempo. Los *Tulou* suelen estar rodeados de pequeños ríos, lo que no solo resuelve el problema de la irrigación agrícola, sino que también ofrece suficiente agua para la vida diaria, al tiempo que ralentiza el avance del enemigo.

Un ejemplo es la aldea de Chuxi, en el municipio de XiaYang, en el condado de Yongding, provincia de Fujian, que consta de más de una docena de *Tulou*. Estos se encuentran sobre una montaña, y un pequeño arroyo que fluye de este a oeste cruza por delante de los edificios, creando una barrera protectora natural. El Clúster *Tulou* de Heceng, en el condado de Nanjing, también está rodeado de montañas y distribuido alrededor de un río en forma de "T", lo que permite una integración perfecta con el entorno circundante.

Además de las defensas naturales proporcionadas por las montañas y los ríos, algunas aldeas construidas con tierra también cuentan con recintos de protección. Un ejemplo es la aldea de Ge'au, en el condado de Yudu, sur de la provincia de Jiangxi, donde se han erigido muros en todos los lados de la aldea, y incluso se han cavado trincheras alrededor de la misma. Los muros exteriores de los *Tulou* son altos y gruesos, mucho más allá de lo necesario para soportar la estructura, ya que su diseño también tiene en cuenta la defensa. Los edificios tradicionales de tierra emplean pocos materiales de piedra en su construcción, y generalmente utilizan mampostería de guijarros en la base de los muros. La parte más estrecha de estos guijarros está orientada hacia el exterior, lo que hace que los muros sean muy difíciles de forzar, ofreciendo así una base sólida y protegiendo la estructura de los daños causados por las inundaciones o los ataques enemigos.[35]



Foto 17 *Tulou*, que es muy familiar para todos en el sur de China

Fuente:Puzhiyuan³⁴

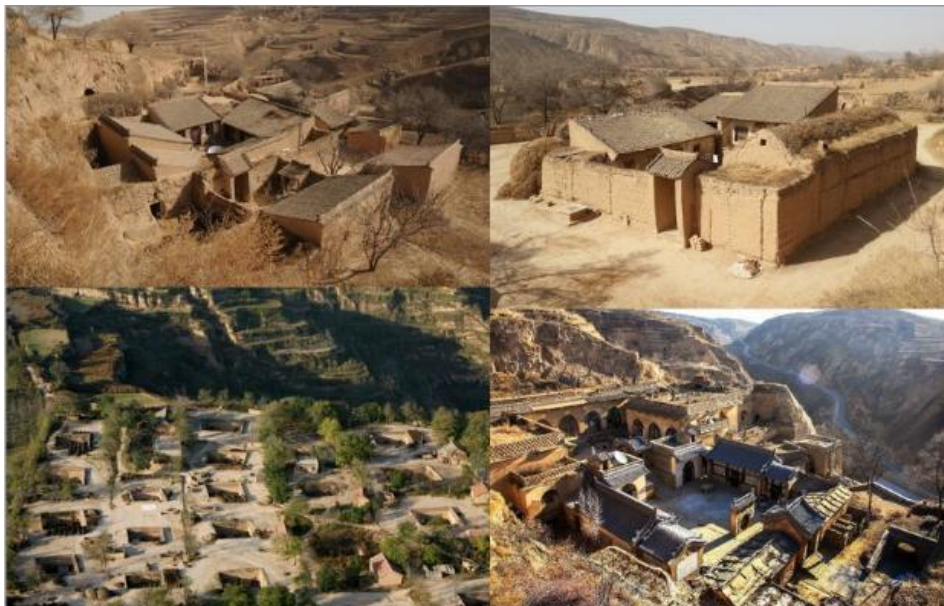


Foto 18 Cuevas de hornos en la región de la meseta de Loess, y este tipo de patio coeducativo de *Shengtu*.

Fuente:Puzhiyuan

³⁴ <https://www.puzhiyuan.net/hyzx/253.html>

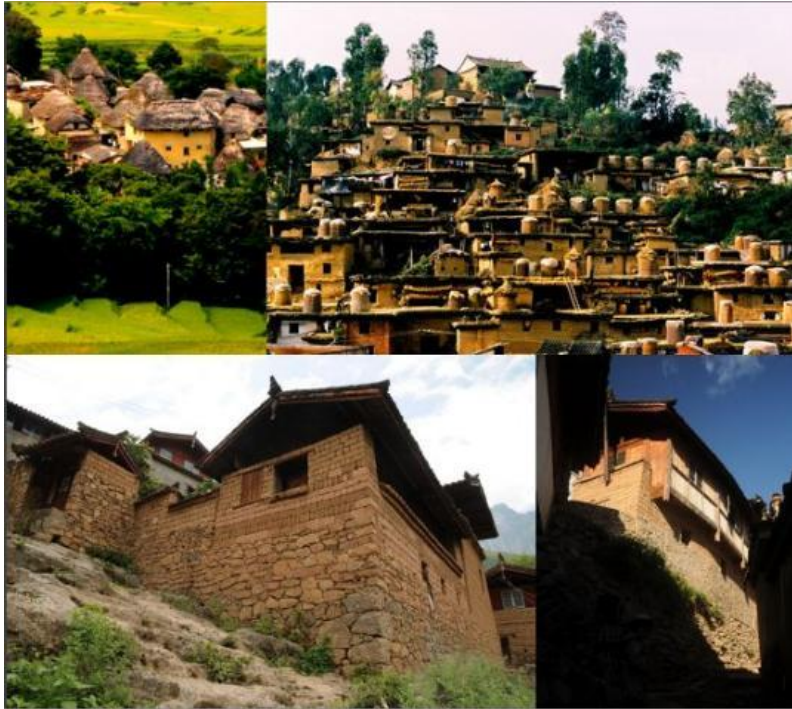


Foto 19 En el suroeste, hay muchas casas de adobe en Lijiang Dali, que conocemos bien, así como casas de palma de tierra.

Fuente:Puzhiyuan



Foto 20 La meseta tibetana alberga grandes casas y torres resplandecientes.

Fuente:Puzhiyuan



Foto 21 En Xinjiang, la famosa ciudad antigua de Kashgar se construyó enteramente con tierra.

Fuente:Puzhiyuan

8.1 Características de los *Tubao* Hakka:

Según el 《辞海》³⁵(*Cihai*), el término "堡" (bǎo) significa "una pequeña ciudad construida con tierra", y ahora se refiere en general a los edificios militares de defensa. "城" (chéng) se refiere a una muralla fortificada que rodea una capital en la antigüedad; "壁" (bì) es un campamento; "垒" (lěi) hace referencia a los cuarteles o castillos que rodean un área; "寨" (zhài) es una cerca de madera utilizada para la defensa, derivada de los cuarteles; y "坞" (wù) es un castillo de tierra construido como barrera en las afueras de un pueblo.[36]

Estos *Tubao* defensivos, mencionados en los registros genealógicos locales del condado, se refieren a todos los *Tulou* y *Tubao*. Su tipo puede clasificarse aproximadamente en las categorías de tipo asedio, tipo búnker, y tipo combinado de casa y fortaleza. Este tipo de

³⁵ 《辞海》（*Cihai*, o diccionario de palabras/frases）es un diccionario y enciclopedia a gran escala del chino mandarín estándar.

arquitectura residencial altamente defensiva se concentra principalmente en los condados montañosos del suroeste y centro de la provincia de Fujian, donde predominan los paisajes de *Tubao*, especialmente en los condados de la ciudad de Sanming. También se encuentran en las zonas montañosas y accidentadas del oeste de Fuzhou, el noroeste de Quanzhou y el norte de Zhangping, en la ciudad de Longyan.

Las fortalezas de *Tubao* son estructuras vernáculas creadas por la población local para satisfacer necesidades prácticas de defensa. La parte exterior se construye con cimientos de piedra, y la *Shengtu* se apisona para formar un muro cerrado, alto y pesado. En general, independientemente de la forma de un edificio *Tulou*, su exterior está delimitado por un muro sólido, que constituye el cuerpo principal de la construcción. La razón principal por la que los muros exteriores de los *Tulou* son tan altos y gruesos, superando ampliamente la fuerza que se ejerce sobre ellos, es garantizar la seguridad y la protección. Tomando el Edificio Chengqi como ejemplo, uno de los *Tulou* más representativos, el muro inferior de Edificio Chengqi tiene 1,5 metros de grosor y 12,4 metros de altura, cerrándose de manera compacta. Además, cuenta con un cimiento de piedra cuadrada de 2 metros de profundidad.

Dentro del muro, hay una plataforma despejada en el segundo o tercer piso, y el muro está equipado con ventanas interiores y exteriores de diferentes tamaños, en forma de cubo, y con numerosos agujeros para armas. Además, en la parte superior de la puerta se encuentran agujeros diseñados para inyectar agua. En las esquinas del *Tubao* o en lugares estratégicos, hay torres de vigilancia. El interior del edificio está principalmente compuesto por una estructura de madera, construida siguiendo el estilo tradicional local de viviendas, con todas las instalaciones necesarias para la vida diaria.

En este sentido, algunos *Tubao*, no están habitados de forma permanente, sino que son utilizados temporalmente por los aldeanos o miembros del clan solo en caso de un ataque. Se ofrecen una defensa eficaz contra los bandidos y ladrones, pudiendo ser cerrados y utilizados como refugio durante varios meses si es necesario.

Esta forma de construcción de *Tubao*, destinada principalmente a la defensa y

complementada con la residencia, se diferencia de otros edificios defensivos en los que la zona de defensa y la de vivienda se combinan en una sola. Por ejemplo, los *Tubao* de Fujian, los *Tulou* de oeste de Fujian y los *Weiwu* de Gannan, debido a su proximidad geográfica y similitud en apariencia, poseen características defensivas, sin embargo, presentan diferencias en cuanto a su estructura y disposición. Lo más importante radica en que el muro del *Tubao* no actúa como elemento portante del edificio. En su lugar, el sistema periférico de estructura de madera se mantiene independiente.

Por otro lado, el muro exterior del *Tulou* es una pared de carga que está directamente integrada en la construcción de los demás elementos del edificio. El muro exterior de un *Tubao* tiene un grosor de entre 2 y 6 metros y está dispuesto con corredores cerrados. En cambio, la parte más exterior de las cabañas *weiqiu* y *wailong* de los *Tulou* es una habitación, y el muro exterior cumple tanto la función de recinto defensivo como de muro de carga para cada habitación. Esto significa que, aunque los *Tulou* también son defensivos, la capacidad de defensa de los *Tulou* no es tan sólida como la de los *Tubao*.

En resumen, el *Tubao* es un tipo de edificio defensivo único situado en la zona montañosa del centro de la provincia de Fujian. Tiene altos muros de *Tubao* y piedra en el exterior, y casas residenciales tipo patio en el interior, que pueden usarse para habitación humana y cerrarse para defenderse del enemigo.

El *Tubao* Anzhen, también conocido como "Ciudad de Chiguan", está situado en el municipio de Huainan, ciudad de Yong'an, para las unidades de protección de reliquias culturales clave nacionales, con su exquisito estilo de arte arquitectónico de la dinastía Qing, conocido como "El Tesoro de llanuras centrales de Fujian". El Fuerte de *Tubao* Anzhen ocupa una superficie de 15 acres, con más de 320 habitaciones de diversos tamaños, 18 salones principales y 18 salones inferiores, 12 cocinas y 5 pozos para que coman más de 1.000 personas. El propietario del *Tubao* Anzhen, Ji Zhanrui, era un tributario local y hombre rico a finales de la dinastía Qing. En vista del auge del bandolerismo a finales de la Dinastía Qing, invirtió más de diez mil dólares de su capital en la construcción de esta fortaleza de *Tubao*. Respecto a *Tubao* Anzhen, los documentos gubernamentales lo describen de la siguiente manera:

El *Tubao Anzhen* está situada en el oeste, orientada al este, con un frente cuadrado y una parte trasera semicircular, construida sobre una montaña y que se eleva gradualmente, y desde la distancia, es estratificada y magnífica. Al entrar en el *Tubao Anzhen*, lo primero que se ve es un campo de prácticas al aire libre con capacidad para miles de personas. Mirando hacia arriba, se podía ver un alto arco hecho de cantos rodados, con las tres grandes palabras "安贞堡 (*Tubao Anzhen*)" escritas en la parte superior de la puerta, y un pareado a ambos lados: 'Estar preparado antes de que llegue la tormenta asegura la estabilidad; durante la era de Zhenguan, la tranquilidad y la paz abundan'. La puerta estaba dividida en dos partes, delantero y trasero, el delantero eran dos puertas de tabloncillos de seis o siete pulgadas de grosor, y el trasero era una gran puerta de hierro. La característica especial es que la parte superior de la puerta principal está provista de dos agujeros para llenar de agua, de modo que si se produce un incendio delante de la puerta, los pisos superiores de la fortaleza pueden llenarse de agua a través de estos agujeros para extinguir las llamas. Esto les da a todos una sensación de estabilidad como una montaña.³⁶[37]



Foto 22 *Tubao Anzhen* en Yong'an, Sanming³⁷

Fuente:Gobierno Popular Municipal de Sanming Yong'an

³⁶ Texto original: 安贞堡座西朝东，前部呈方形，后部为半圆开，依山而建，逐次增高，远远望去，层次分明，气势不凡。一进安贞堡，可见一块可容数千人的露天练兵场。抬头望去，是一道用巨石砌成丈余高拱形的大正门，门顶写着“安贞堡”三个大字，两旁书一对联：“安于未雨绸缪固，贞观沐风谧静多。”正门前后两重，前重是两扇六七寸厚的木板门，后重是道大铁门。绝妙之处，乃是正门顶上设有两处灌水孔，门前遭火，堡内楼上便可灌水直下，大火便可扑灭，使人看了，有稳如泰山之感。 [37]

³⁷ https://www.ya.gov.cn/mla/yaly/lyjd/201409/t20140924_856412.htm

Según su función, los *Tubao* se pueden clasificar en dos tipos: *Tubao* defensivo y *Tubao* con una combinación de fortaleza y residencia. La gran mayoría de los *Tubao* son principalmente defensivos, con un enfoque especial en la seguridad y la construcción de instalaciones defensivas. Ejemplos representativos de este tipo son el fuerte Shebei en el condado de Ninghua y el fuerte Anzhen en el condado de Yongan.

Por otro lado, un pequeño número de *Tubao* tienen como función principal la residencia, pero también incorporan elementos defensivos en su diseño. Existen dos tipos de *Tubao* residenciales combinados con fortaleza: el primero consiste en una casa original con una construcción adicional en una esquina, conocida como tipo Diao; el segundo tipo se refiere a nuevas construcciones de casas, donde las viviendas en las esquinas de tipo Diao se combinan orgánicamente con el resto del edificio. Este tipo de *Tubao* está representado por el *Tubao* de Guangyu y el *Tubao* de Songqing. Además, existen raros *Tubao* principalmente residenciales, como el *Tubao* de Dafuzhen, que consta de una parte delantera con el edificio principal y una parte trasera con tres edificios separados de tipo Diaoyu en las esquinas.

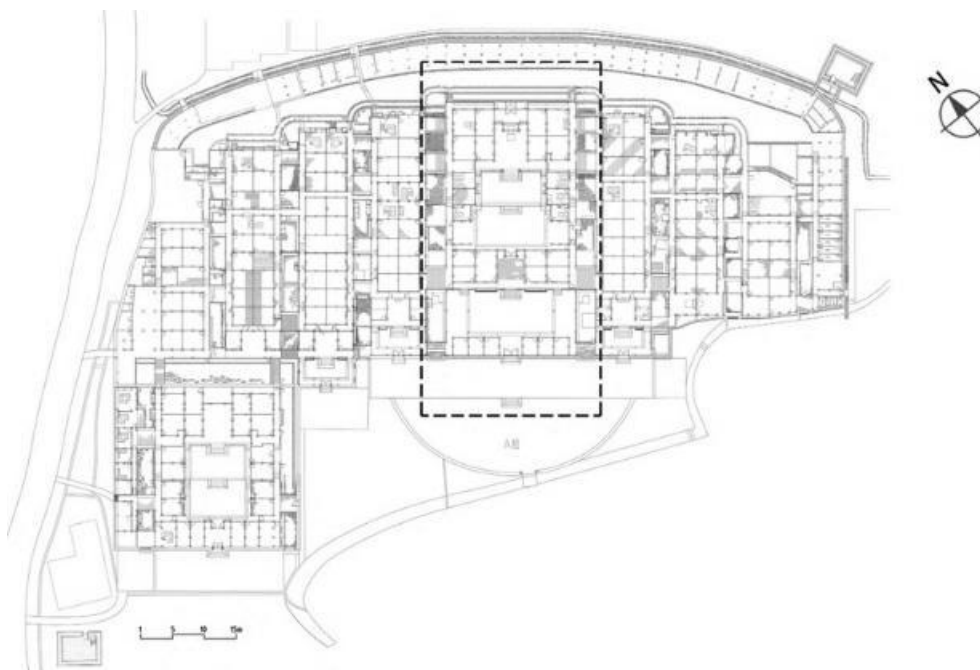


Foto 23 Plano de la planta baja de Dafushen³⁸

³⁸ <https://crlhd.xmu.edu.cn/2023/0318/c11763a470580/page.htm>

Fuente : «Atlas de cartografía de Dafushen en Pingzhai, condado de Youxi, ciudad de Sanming, provincia de Fujian», por el Departamento de Arquitectura de la Universidad de Zhejiang, inspeccionado y cartografiado en 2014.



Foto 24 Dafushen, aldea de Pengzhai, Meixian, condado de Youxi

Fuenteo: Cortesía del Museo del Condado de Youxi

8.2 Características de Hakka *Tulou*

El Edificio Chengqi, con un muro de 1,5 metros de grosor en su parte inferior y una altura de 12,4 metros, tiene como cimientos cantos rodados cuadrados de 2 metros. Este diseño lo hace excepcionalmente fuerte, capaz de resistir impactos severos durante las guerras en la era de las armas frías. Los grandes *Tulou* cuadrados suelen tener piedras en las esquinas, que son relativamente frágiles. Algunos cuentan con cimientos de muro de piedra, contruidos con una combinación de guijarros y piedras. Esta combinación no solo aumenta la estabilidad de los cimientos, sino que también mejora su rendimiento defensivo.

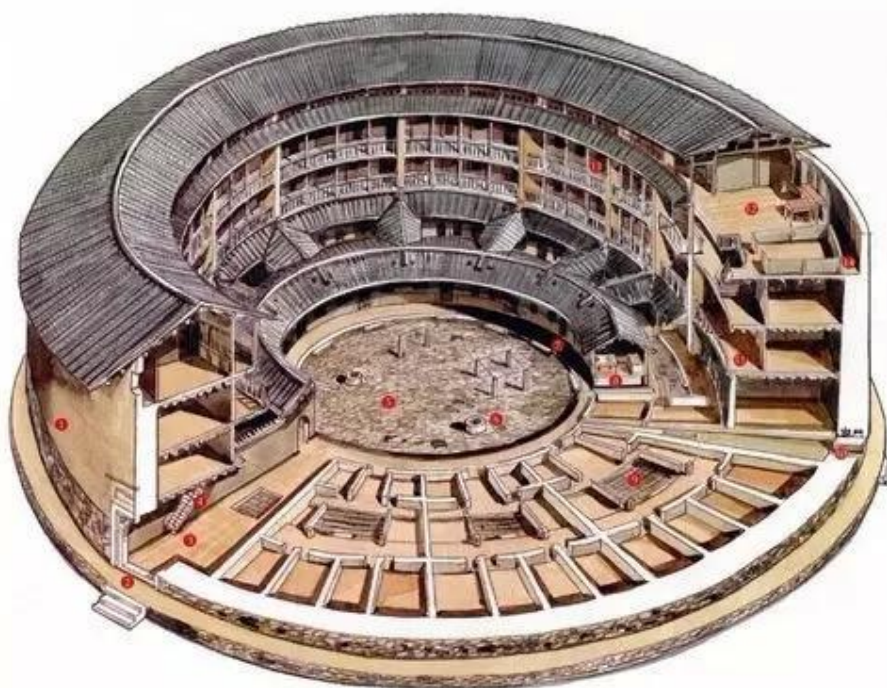


Foto 25 Diagrama esquemático de la estructura del *Tulou*

*Fuent: Centro de Información de Internet de China*³⁹

La puerta principal de un *Tulou* suele ser una sola, y, incluso en los *Tulou* más grandes, rara vez se encuentran más de dos puertas. Dado que la puerta es el punto más vulnerable en el sistema defensivo de los *Tulou*, los enemigos tienden a concentrar sus ataques en ella. Por lo tanto, al construir un *Tulou*, se presta especial atención al diseño de la puerta. El marco de la puerta, los escalones y el umbral están hechos de piedras duras como granito, y el marco de la puerta está firmemente unido a la pared, lo que aumenta su estabilidad. El cuerpo de la puerta es de madera dura, con un grosor superior a los 15 cm, y tanto los bordes como los puntos más vulnerables están recubiertos de hierro. En el interior de la puerta se encuentran varios pernos cuadrados de gran tamaño, que refuerzan aún más su estabilidad. Esta estructura tan robusta permite que la puerta resista múltiples impactos. Los constructores de

³⁹ <https://news.qq.com/rain/a/20221028A04CTF00>

Hakka *Tulou* también tuvieron en cuenta el uso de ataques de fuego por parte del enemigo. En este caso, la puerta y la conexión con la pared están diseñadas con un fregadero, el cual se comunica con el *Tulou*. En caso de ataque con fuego, es posible inyectar agua en el fregadero, lo que crea una cortina de agua frente a la puerta y ayuda a extinguir el fuego.

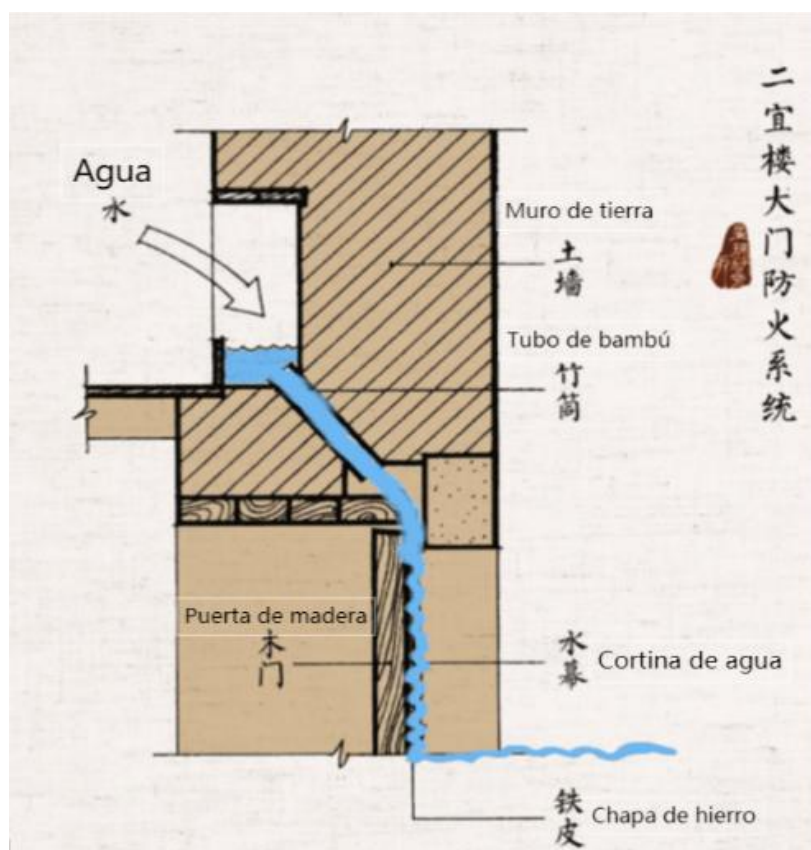


Foto 26 Sistema de protección contra incendios de puertas de Edificio Eryi.

Fuente: Chinese National Geography⁴⁰

La planta baja de los *Tulou* no tiene ventanas, especialmente en los *Tulou* grandes, donde tanto la planta baja como el primer piso carecen de ellas. Estos pisos se destinan principalmente a la cocina y a los almacenes. En las plantas superiores, se utiliza el diseño de “más ventanas, pero más pequeñas” para asegurar que cada ventana esté cuidadosamente controlada en tamaño. Las ventanas interiores son grandes, mientras que

⁴⁰ https://news.qq.com/rain/a/20230908A07VZ900?suid=&media_id=

las exteriores son más pequeñas, lo que dificulta el acceso desde el exterior, pero facilita que los residentes puedan salir rápidamente en caso de emergencia.

La estructura interna del *Tulou* se divide en dos tipos: el tipo de pasillo interior y el tipo de unidad.

En cuanto a la distribución, no hay pasillos en cada planta de los *Tulou* tipo unidad. En su lugar, cada planta, tanto superior como inferior a la abertura vertical, constituye una unidad separada por paneles de madera en el centro. Cada unidad es un espacio destinado a una pequeña familia, con su propia escalera independiente, lo que garantiza una notable privacidad. Sin embargo, en caso de un conflicto, los paneles de madera se retiran y las unidades familiares se conectan entre sí, permitiendo que las familias, que generalmente viven de manera independiente, se unan para defenderse de posibles enemigos.

En el tipo de pasillo, los corredores se distribuyen a lo largo de un círculo circular, donde las viviendas comparten algunas escaleras, lo que une cada hogar y refuerza la cohesión de la construcción. De esta manera, el *Tulou* se convierte en un todo integrado, con cada unidad conectada y en defensa mutua.

Aunque la estructura principal del *Tulou* está hecha de *Hangtu*, el interior se construye principalmente con madera. Además de su función defensiva contra enemigos, los *Tulou* también han sido diseñados con una fuerte conciencia de la prevención de incendios. Como se mencionó anteriormente, muchos *Tulou* están ubicados cerca de ríos y algunos tienen estanques frente a la entrada. Además, los *Tulou* cuentan con pozos en su interior y depósitos de agua en cada planta para emergencias, lo que garantiza que se pueda acceder a una gran cantidad de agua para extinguir incendios rápidamente.

En su época, algunos *Tulou* colocaban una capa de ladrillos verdes sobre el suelo de madera de la planta baja y los pasillos superiores para evitar la humedad, prevenir incendios y mejorar el aislamiento acústico. Esta medida es similar a las prácticas de prevención de incendios de algunos edificios de estilo Huizhou. En el condado de Yongding, por ejemplo, los *Qingzhuan* se utilizan para pavimentar el suelo del pasillo en el Edificio Yijing

Dado que el espacio del *Tulou* es limitado, en caso de un largo asedio, los suministros internos de alimentos podrían verse gravemente comprometidos. Por ello, resulta igual de importante garantizar un abastecimiento adecuado de alimentos y asegurar la resistencia de las murallas. En la construcción del *Tulou*, se tuvo en cuenta este aspecto de manera integral: en primer lugar, los *Tulou* suelen ubicarse en terrenos planos y abiertos, rodeados de ríos y con acceso a recursos hídricos subterráneos. Generalmente, un *Tulou* cuenta con al menos dos pozos, y los más grandes pueden tener 4 o 5, lo que garantiza el abastecimiento de agua para la vida diaria y, además, sirve para la prevención de incendios.

En segundo lugar, el piso bajo y el primer piso, se utiliza principalmente como granero, donde se almacenan materiales y se elaboran productos como encurtidos y carne seca, que pueden satisfacer las necesidades de los habitantes durante largos períodos. Finalmente, el patio central del *Tulou* se empleaba para cultivar algunas hortalizas y criar animales como pollos y patos. También se criaban tortugas en una zanja, que se utilizaban para drenar el cieno y así contribuir a resolver algunas de las necesidades cotidianas en un corto período.

Cuando los *Tulou* eran invadidos por enemigos o cuando se agotaban las municiones y los suministros, surgía la necesidad de plantear una evacuación. En el Edificio Jikei, el más singular de todos los *Tulou*, existe un túnel secreto. Este túnel está oculto en una habitación de la planta baja, que tiene una pared exterior de ladrillo de 1 metro de ancho, 1,5 metros de largo y 0,2 metros de grosor. El túnel está disimulado dentro de esta pared exterior, camuflado como una entrada de escape que se esconde tras una pared de *Hangtu*, con un armario como cubierta. Este túnel nunca se utilizó, salvo como último recurso, y servía como una vía de escape para los habitantes del edificio.

Sin embargo, la región de Guangdong, con su clima monzónico subtropical, cálido y lluvioso durante todo el año, presenta suelo blando, un alto nivel freático y malas condiciones geológicas en las zonas montañosas, lo que dificulta y encarece la construcción de túneles. Como resultado, pocos *Tulou* cuentan con túneles secretos.

La capacidad defensiva de los *Tulou* suele recibir una valoración muy alta, y cuando los primeros habitantes construyeron estas viviendas, implementaron muchas medidas de defensa para protegerse de la intrusión de bandidos y ladrones. Sin embargo, con el paso del tiempo, a medida que la sociedad se estabilizó, muchos *Tulou* comenzaron a reducir o incluso eliminar estas medidas defensivas.



Foto 27 La atalaya del edificio Jiqing

Fuente: Cai weihuang⁴¹

Dado que el *Tulou* redondo se ha convertido en el principal representante de la arquitectura de los *Tulou*, es importante reflexionar sobre por qué el pueblo hakka adoptó un plano circular en sus residencias en etapas posteriores. Originalmente, el plano cuadrado podía fortalecer la importancia del eje central, lo que satisfacía mejor las necesidades psicológicas de los hakka de rendir homenaje a sus antepasados y de mantener la centralidad del clan. Sin embargo, a pesar de la importancia de estos aspectos simbólicos, el poder de la naturaleza resultó ser decisivo.

⁴¹ <http://travel.qunar.com/p-pl5038042>

En las zonas montañosas, el viento puede ser extremadamente fuerte, especialmente durante el invierno, y si se mantiene durante mucho tiempo, puede ser muy helado, lo que provoca enfermedades fácilmente. Los habitantes de hakka, con su experiencia a lo largo de los años, llegaron a la conclusión de que el diseño circular de los *Tulou* es más resistente a los vientos fuertes que el cuadrado, lo que llevó a la transición de los *Tulou* de un diseño cuadrado a uno redondo. Además, reducir el tamaño de las ventanas y aumentar la masa de los muros también son medidas eficaces para resistir los vientos intensos. Lo más inteligente es que los hakka ni siquiera abren las ventanas de los primeros pisos, que no están habitados, para minimizar aún más la resistencia al viento. [38]

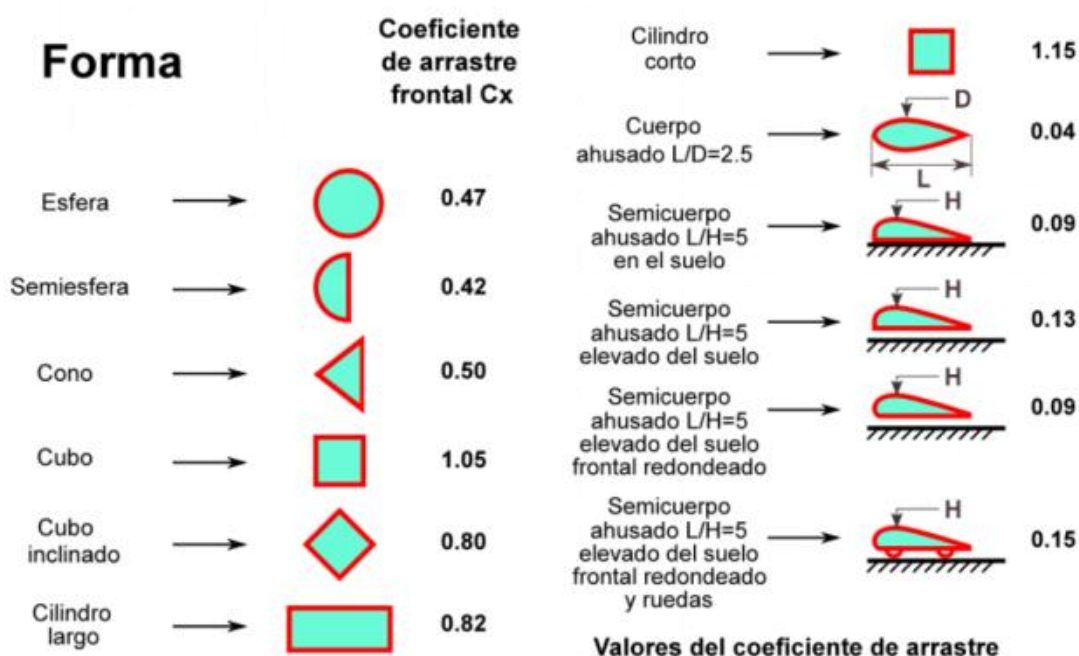


Foto 28 Measured drag coefficients⁴²

Fuente:Wikipedia

Así, el pueblo hakka tras experimentar en la práctica a lo largo del tiempo, descubrió que la forma redonda ofrecía más ventajas que la cuadrada a la hora de resistir las inclemencias.

⁴² https://es.wikipedia.org/wiki/Coeficiente_de_resistencia

Esto puede considerarse una manifestación de la psicología de cohesión del pueblo Hakka. El pueblo Hakka prefiere optar por un modelo arquitectónico que ofrezca protección a sus familias contra desastres naturales y conflictos étnicos. Y no es difícil ver en investigaciones anteriores que también encontraron una manera de resaltar el orden de antigüedad e inferioridad en los *Tulou* redondos. De esta manera, el cambio de la forma cuadrada a la circular no solo respondió a una necesidad psicológica, sino también a una adaptación práctica frente al entorno externo.

8.3 Similitudes y diferencias entre Hakka *Tubao* y Hakka *Tulou*

·Similitudes

Los *Tubao* y los *Tulou* no solo comparten similitudes en su apariencia, sino que también tienen importantes funciones defensivas. Tanto los *Tubao* como los *Tulou* cuentan con gruesos muros de *Tuqiang*, que incluyen troneras y aberturas para llenar de agua, y generalmente tienen una sola puerta principal. En el patio interior de estos edificios se encuentran pozos, y en algunos casos, graneros, lo que facilita su autosuficiencia y capacidad de defensa durante largos períodos de tiempo. [39]

·Diferencia:

- Construidos en distintas épocas: El Hakka *Tubao* apareció en las dinastías Sui y Tang, hakka *Tulou* comenzó en las dinastías Song y Yuan. La construcción de los castillos de tierra fue anterior a la de los *Tulou*. Se puede decir que primero hay *Tubao* y luego *Tulou*.

- La distribución funcional es diferente: El *Tubao* es principalmente para la defensa, el círculo exterior es sólo para instalaciones de defensa, por lo general sólo para la defensa, rara vez viven, el principal espacio de vida en el patio interior de estilo edificios residenciales *Tubao* es principalmente para vivir en la vida se encuentra en el círculo exterior del edificio, un conjunto de defensa y residencial en uno. *Tubao* tiene un desempeño defensivo más fuerte y completo

que *Tulou*.

- Diferente diseño del plan: El *Tubao* es una combinación del edificio del círculo exterior y la residencia tipo patio interior, con pequeños patios de diferentes formas y tamaños. Los *Tulou* son edificios de uno o varios círculos, con espacios habitables dispuestos a lo largo del perímetro del círculo, con corredores a caballo que conectan las plantas, y normalmente con amplios patios cuadrados en medio de los edificios anillados.

- Diferentes materiales de los muros: Los muros de los *Tubao* están contruidos con piedra en la planta baja, y en los pisos superiores se utilizan materiales de *Shengtu*. Estos muros tienen un grosor de entre 2 y 6 metros, lo que les da una gran robustez y resistencia. En comparación, los muros de los *Tulou* están hechos de *Sanhetu* apisonada y guijarros, con un grosor de 1,5 a 3 metros. Además, los aleros de los *Tulou* son grandes, lo que les otorga una gran estabilidad, evitando grietas y optimizando el espacio habitable.

-Diferente sistema de fuerza:La pared de los *Tubao* no actúa como el cuerpo de fuerza principal del edificio. La estructura principal de estos *Tubao* es principalmente de madera, con columnas que se apoyan directamente en el suelo. Las columnas están conectadas a través de una correa de cremallera, y el sistema de transmisión de fuerzas generalmente sigue este orden: tejas, tablas de madera debajo de las tejas, vigas de madera, columnas de madera y finalmente los cimientos. En los *Tulou*, los muros son portantes, es decir, actúan como la estructura de carga del edificio. El círculo interior del *Tulou* tiene una estructura de madera con espacios perforados, y se construye sobre los *Tuqiang*. En resumen, en los *Tubao*, los *Tuqiang* solo funcionan como una estructura cerrada, mientras que en los *Tulou* los muros de *Tuqiang* son portantes.



Foto 29 Diagrama esquemático de la arquitectura hakka *Tulou* y hakka *Tubao*⁴³

Fuente: 19lou

9. Cambios en la forma del Hakka *Tulou*

El *Tulou* ha experimentado una evolución de forma, pasando de cuadrado a redondo. Los primeros *Tulou* eran de forma cuadrada, y fue con el desarrollo de los Siheyuan (un tipo de patio cuadrado que está rodeado por construcciones en sus cuatro costados) en las Llanuras Centrales que, gradualmente, adoptaron la forma redonda. Cuando se menciona el *Tulou*, la imagen que generalmente se evoca es la de la versión redonda; sin embargo, el *Tulou* cuadrado es, en realidad, el origen de toda la cultura *Tulou*. Antes de la migración de los hakka hacia el sur, los edificios de estilo cuadrangular del norte ya estaban bien establecidos. Al llegar al sur, y debido a la herencia de las técnicas de construcción, los primeros *Tulou* construidos por los hakka fueron sin duda cuadrados. Solo a través de un largo proceso de práctica y evolución, los hakka desarrollaron la forma redonda de los *Tulou*.

⁴³ <https://www.19lou.com/forum-32-thread-87471704349564615-1-1.html>

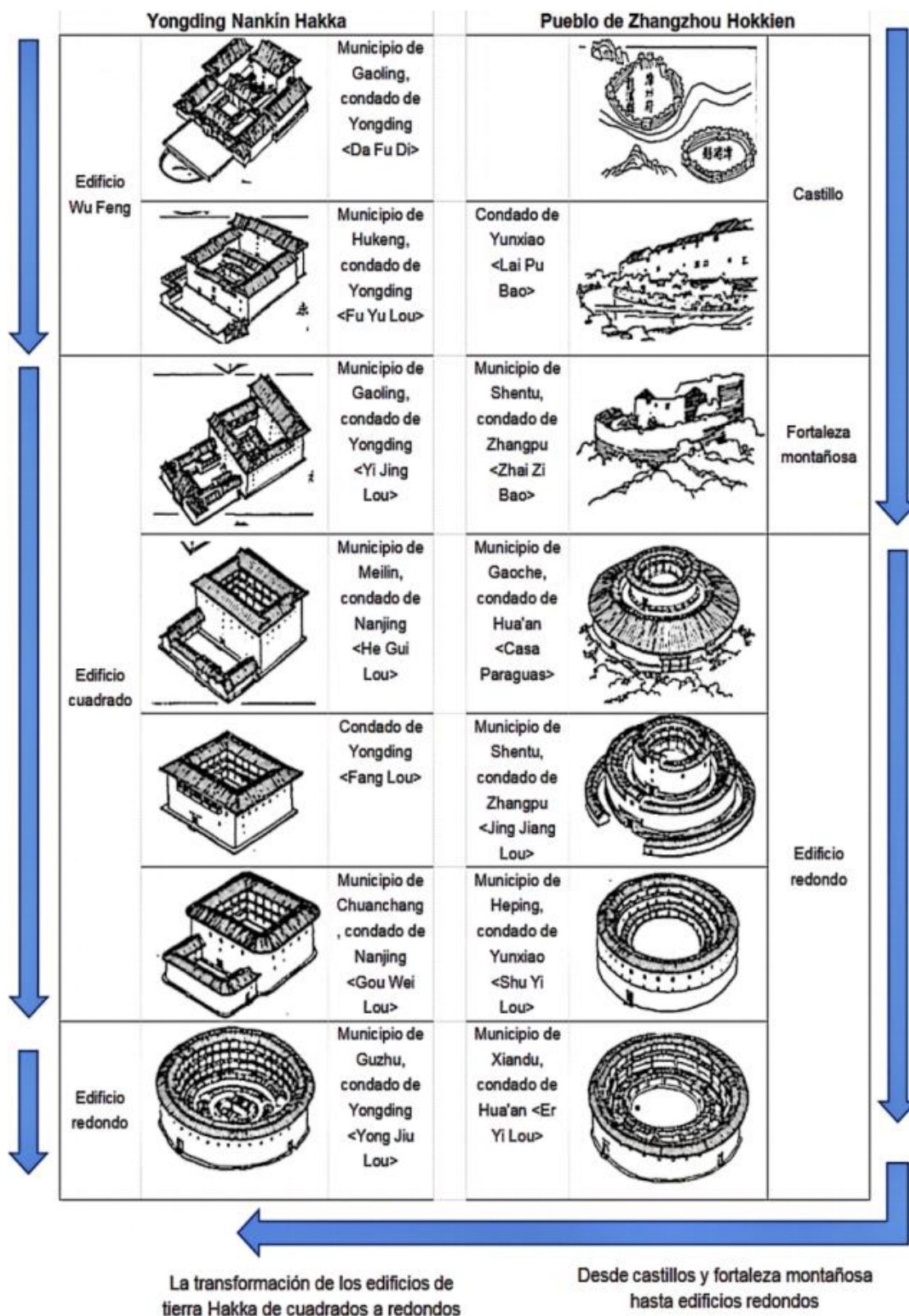


Foto 30 Evolución de la arquitectura hakka

Fuente: Elaboración propia

9.1 坞堡 *Wubao* (Habitabilidad de la fortaleza) Cambio de formas arquitectónicas

El *Wubao* es un producto característico del contexto histórico de la guerra, desarrollado a partir de las fortificaciones fronterizas durante el reinado del emperador Wu de la dinastía Han. Es una construcción defensiva de carácter civil. El *Wubao* representa una de las formas residenciales de la dinastía Han, consistiendo en un muelle construido sobre terreno llano, rodeado por murallas, con aberturas tanto en la parte delantera como en la trasera. En su interior, se encuentran torres de vigilancia y torres en las esquinas de los cuatro ángulos, lo que le otorga una estructura que guarda cierta semejanza con el sistema urbano de una ciudad amurallada. [2]

La arquitectura de los *Wubao* es muy similar a la de las viviendas cuadradas de los *Tulou* existentes, ya que tanto el *Wubao* como los *Tulou* fueron construidos con fines defensivos, para protegerse de los enemigos externos y de los peligros que presentaban los pasajes vulnerables. En cierto sentido, las actuales viviendas tradicionales hakka han evolucionado a partir de los *Wubao*, y ambas comparten un linaje arquitectónico común. LuoYang, considerada la cuna de los antepasados hakka, fue el punto de partida de la migración masiva hacia el sur, llevando consigo la influencia de la arquitectura de los *Wubao*. Se puede afirmar que las viviendas tradicionales del sur, en particular los *Tulou* de estilo redondo, son una suerte de fósil viviente de la arquitectura *Wubao* del norte.

Ya sea en forma cuadrada o redonda, los *Tulou* comparten ciertas características con los *Wubao*, como sus altos y gruesos muros cerrados, la disposición espacial simétrica en el eje central, las defensas tipo cañonera en los muros y los pasillos ocultos fuera de *Citang*. Estas características provienen directamente de la arquitectura *Wubao*, reflejando la naturaleza cerrada y defensiva de los *Tulou*, así como la fuerte cohesión familiar propia de la cultura hakka.

La principal diferencia radica en el contexto de construcción. Los *Wubao* fueron edificadas en tiempos de guerra y agitación social para hacer frente a las disputas, lo que les da un carácter temporal y transitorio. Actualmente, pocos *Wubao* del norte conservan restos de

muros, y la mayoría solo se conocen a través de toponimia y leyendas, vislumbradas por algunos restos arqueológicos. En contraste, los *Tulou*, lejos de sumergirse en el olvido, continúan prosperando gracias al esfuerzo continuo del pueblo hakka.

9.2 Estilos de vida agrupados

Los antepasados del pueblo hakka que emigraron desde las Llanuras Centrales hasta el sur optaron por asentarse en las colinas onduladas donde el suelo y el clima eran adecuados para la agricultura, y con el fin de defenderse del ataque de los animales salvajes del exterior y del bandidaje y el bandolerismo, etc., Se reunieron en una gran familia y construyeron *Tulou* que se ajustaban a los hábitos de vida del pueblo hakka. Como resultado, hay muchas pequeñas familias que no son completamente independientes dentro del *Tulou*, y estas pequeñas familias viven en forma de pequeñas unidades, que a su vez convergen para formar una gran familia que vive junta en el mismo *Tulou*, formando una forma de vida de vivir en grupos.[40]

- Asentamiento solitario: los edificios *Tulou* tienen la característica distintiva de su enorme volumen, y son enormes edificios monolíticos que pueden albergar a docenas o incluso cientos de personas.

- Asentamiento familiar extragrande: el sistema familiar en una residencia *Tulou* es muy amplio, incluyendo padres, hermanos y hermanas, cuñadas, tíos y sobrinos, suegras y yernos, etc., y las personas del mismo edificio tienen los mismos abuelos, con muchas generaciones bajo el mismo techo, y los abuelos mayores tienen autoridad absoluta.

- Asignación del espacio de convivencia: el tamaño de los huecos y el número de pisos de cada hogar son exactamente iguales, y la asignación funcional de cada espacio es casi exactamente la misma.

- Colocación en torno al clan: cada familia irradia sus espacios de vida y descanso hacia el

exterior desde el *Cítang* central, en un orden ordenado, con un frente bajo y un fondo alto, y una fuerte orientación centrípeta tanto en planta como en alzado. Esta forma espacial da a la gente un fuerte sentido de cohesión, y es también una forma de transmitir el concepto de clan desde dentro.

- Crecimiento de la población: Con la continua expansión de la población dentro del clan, los *Tulou* también pueden construir nuevos círculos a tiempo para disponer de espacio vital.

Por la forma en que los hakka viven en agrupaciones, se puede sentir claramente el fuerte concepto del clan y la connotación cultural del folclore hakka.

9.3 Disposición simétrica del edificio

En China, existe una gran cantidad de edificios tradicionales simétricos que representan la belleza de la armonía, la unidad, el equilibrio y la estabilidad, valores propios de la simetría china. Al mismo tiempo, estos edificios encarnan la cultura tradicional de solemnidad y rituales. Ya sean cuadrados o redondos, los *Tulou* continúan y refuerzan la forma simétrica de los palacios y edificios residenciales tradicionales de las Llanuras Centrales, el hogar ancestral de los antepasados hakka, con la característica distintiva de estar contruidos y dispuestos en estricta conformidad con la simetría del eje central.

Independientemente de la planta o el alzado, la mayoría de los *Tulou* están orientados en el eje norte-sur, y los nodos clave de las casas, como la puerta principal, el vestíbulo delantero y el *Cítang*, están dispuestos secuencialmente a lo largo de este eje. Los espacios secundarios, tales como las cocinas, los almacenes, los dormitorios y otros espacios habitables, se distribuyen hacia el exterior siguiendo una simetría este-oeste. Además, la configuración de las fachadas redondas y cuadradas de los edificios también se ajusta estrictamente al principio de simetría en el eje central.

En cuanto al espacio interior de las casas *Tulou*, se observa que el estilo de la puerta

principal, la posición de la puerta lateral, la disposición del pasillo de conexión, la colocación del *Cítang*, el tamaño de los espacios destinados a actividades públicas y los espacios habitables, la ubicación de las escaleras y la disposición de las ventanas en cada unidad cumplen estrictamente con el principio de simetría. Como resultado, todo el conjunto del *Tulou* se presenta bien distribuido, pero al mismo tiempo, mantiene una organización escalonada que se repite de izquierda a derecha. La disposición simétrica de los edificios hakka *Tulou* refleja no solo la atención al concepto tradicional chino de etiqueta, sino también una importante manifestación del sistema cultural tradicional hakka, que subraya la centralidad del honor y el mantenimiento del orden de respeto y subordinación dentro del linaje del clan. [4]

9.4 Disposición centrada en el santuario

El desarrollo de la forma arquitectónica de los *Tulou* está estrechamente relacionado con el peligroso entorno social experimentado por los antepasados hakka durante su migración hacia el sur. En cuanto a la influencia del concepto de descendencia del clan en la disposición espacial de las viviendas de los hakka *Tulou*, la idea de venerar a los antepasados es, sin duda, el principio dominante. Para el pueblo hakka, en el difícil entorno social y de vida de esa época, las personas que compartían un mismo *Tulou* no solo eran compañeros unidos para defenderse de los enemigos externos, sino que también compartían un lazo con sus antepasados, quienes eran considerados una “bendición” común en su espíritu. Así, el pueblo hakka desarrolló una fuerte identidad, un culto y una creencia en el clan, y las actividades de veneración a los antepasados se convirtieron en un elemento central de la vida comunitaria.

Por esta razón, los hakka otorgan gran importancia al culto a los antepasados, y el *Cítang*, que es un espacio público esencial para la familia, se encuentra casi siempre en el núcleo central de todo *Tulou*. El *Cítang* se utiliza principalmente para consagrar las tablillas de los antepasados, quemar incienso en su honor y realizar reuniones familiares importantes.

Además, el *Citang* cumple otras funciones, como servir de espacio para el estudio y la escritura de los hijos de la familia, organizar bodas y funerales para todo el *Tulou*, y recibir invitados para representaciones teatrales, lo que lo convierte en un espacio clave para fortalecer la cohesión dentro de la familia.

El *Citang* central y la naturaleza centrípeta del edificio destacan especialmente en la forma del *Tulou* redondo. Tomando como ejemplo el edificio Huaiyuan en Fujian, en términos de planta, el centro arquitectónico de todo el edificio es el *Citang*. Desde esta sala, como centro del círculo, se irradian cuatro círculos con radio creciente, en los cuales se disponen secuencialmente el pasillo de entrada, el patio, el corredor, la sala de estar y los dormitorios. Cada área funcional se orienta hacia la sala solariega, y la atención de los habitantes converge naturalmente en este espacio central. La disposición general es ordenada y clara, lo que no solo está en consonancia con el concepto de orden del clan, sino que también refleja una cierta dirección estética, similar a las ondas en el agua o a las ondas sonoras: capas de ondas, dinámicas y rítmicas. El *Citang* en el centro del *Tulou* no solo es el núcleo físico del edificio, sino también el núcleo espiritual del sistema cultural hakka.

Cada *Tulou* cuenta con una entrada principal que conduce directamente al patio del edificio, desde donde se puede apreciar mejor el interior de madera del *Tulou*.

La madera se utiliza de manera extensa en toda la estructura. La estructura del tejado, el sistema de suelo y las columnas que soportan la mitad de la carga del tejado, así como el sistema de piso, están hechos de madera. La estructura de madera es una característica única de la arquitectura del *Tulou*, ya que las zonas habitables están formadas enteramente por esta estructura. Sin embargo, la parte de *Hangtu* del *Tulou* hakka hace que la estructura sea particularmente singular. Los *Tuqiang* proporcionan estabilidad estructural y confort térmico a los habitantes del *Tulou*. La construcción de un *Tuqiang* es un proceso laborioso que requiere un molde para colocar el *Shengtu*. Además, se añaden bambú y/o palos y virutas a la mezcla como refuerzo.



Foto 31 Interior del edificio qicheng⁴⁴

Fuente: World Heritage Convention

10. Formas de Hakka *Tulou*

Según el plano, pueden clasificarse en *Tulou* cuadrados, redondeados, circulares y de forma irregular.[41][42]

10.1 *Tulou* redondo

Entre los edificios *Tulou*, destaca especialmente el edificio redondo, cuya forma es popular en el oeste y sur de Fujian, al punto de que algunos estudiosos lo consideran una "casa colectiva".

El centro de un *Tulou* redondo es un amplio patio al aire libre, que los hakka llaman atrio o estanque. A diferencia de los patios de los edificios del norte, este patio no siempre está en el centro. En los *Tulou* redondos de un solo círculo, el patio es circular. En los *Tulou* redondos de varios círculos, todas las habitaciones, salvo los salones públicos y las escaleras, tienen la misma forma y tamaño. Estas habitaciones, limpias y ordenadas, están dispuestas en una

⁴⁴ <https://whc.unesco.org/en/list/1113/>

configuración de escalera curva que los lugareños llaman de forma imaginativa *Futoujian* (las habitaciones se disponen como los pétalos de un cítrico, o como las hojas de un hacha, reunidos en un círculo).

En la planta baja del *Tulou* redondo, además del vestíbulo y la escalera, se encuentran la cocina y el comedor; no se abren ventanas hacia el exterior. En cambio, el interior del edificio tiene ventanas de celosía de madera recta y puertas de paneles de madera con una media puerta de cintura. Independientemente del tamaño o número de plantas del *Tulou* redondo, las habitaciones de cada piso mantienen un tamaño uniforme. En algunos edificios de solo dos plantas, la planta baja se utiliza como dormitorio. Sin embargo, en la mayoría de los edificios de tres o cuatro plantas, el primer piso se usa como almacén para guardar alimentos y productos agrícolas. En el tercer piso y niveles superiores se encuentran los dormitorios, que tienen pequeñas ventanas alargadas orientadas hacia el exterior y ventanas rectas de celosía o de otro tipo hacia el interior. Cada planta suele contar con pasillos, y los pasillos de los pisos superiores están contruidos con vigas sobresalientes, columnas y balaustradas.

En general, la planta baja de los *Tulou* redondos pequeños y medianos tiene una sala abierta frente a la puerta principal, que se destina al *Citang*, un lugar sagrado donde la familia realiza sacrificios a los antepasados. Los *Tulou* redondos de mayor diámetro cuentan con un patio muy amplio, en cuyo centro a menudo se construye un *Citang* cuadrada, con la disposición de "cuatro armazones y tres habitaciones" y dos mesas, dedicada a los antepasados. Este espacio también funciona como un templo familiar formal y se utiliza como centro de consejo familiar y aula de escuela privada.

El *Tulou* redondo con varios círculos es una estructura peculiar en la que un gran círculo rodea un círculo más pequeño en el centro, creando un edificio dentro de otro. En el centro del edificio de círculos múltiples se encuentra un *Citang* de una planta. El segundo círculo es un edificio de dos plantas o un bungalow con un ático ligeramente más alto que *Citang*. El *Tulou* redondo más pequeño se encuentra en Ruxing, en el condado de Yongding, mientras que las características más destacadas de los *Tulou* redondos de tierra se pueden apreciar plenamente en el Edificio Chengqi.



Foto 32 Guangdong Meizhou edificio Hua'e

Fuente: Turismo en Tai Po⁴⁵

10.2 Tulou elíptico

Los edificios elípticos no son comunes, y su disposición responde principalmente a dos factores. En primer lugar, la configuración de la base; al estar situados en terrazas rectangulares rodeadas por pendientes pronunciadas en todos sus lados, es necesario construir un edificio elíptico que se adapte al terreno. Segundo, se toma en cuenta el *Feng shui*; en contraste con los edificios redondos, que tienen una adaptabilidad direccional más flexible, los edificios elípticos requieren que la puerta principal y el *Citang* estén ubicadas en el eje corto sin posibilidad de cambio, orientándose hacia la montaña o una fuente de agua. Esta orientación, determinada por el maestro de *Feng shui*, condiciona la disposición del edificio elíptico.

Se puede tomar el ejemplo del Edificio Shumei para ilustrar las características. El círculo exterior del Edificio Shumei tiene un eje longitudinal de 59 metros y un eje transversal de 52,6

⁴⁵ https://www.sohu.com/a/431192443_369084

metros; el círculo interior tiene un eje longitudinal de 33 metros y un eje transversal de 27,6 metros. Consta de tres plantas y paredes de 1,1 metros de grosor. El edificio adopta la disposición única de las unidades del pueblo hakka de Zhao'an, con un total de 42 habitaciones. Cada familia, de acuerdo a sus recursos económicos y financieros, ocupa entre una y tres habitaciones, normalmente, una familia ocupa tres habitaciones, cuatro familias ocupan dos habitaciones, y el resto, una habitación cada una.

La puerta principal se encuentra en el eje corto. Existen dos *Citang*: uno está situado en el patio, en el centro de tres habitaciones; el otro se halla en el lado opuesto de la puerta, también en el eje corto, aunque desplazado una habitación. Algo que los habitantes locales interpretan según principios de *Feng shui*. Al cruzar el vestíbulo de entrada y pasar por un estrecho callejón, se llega a un patio interior de forma ovalada, que cuenta con un pozo en su sección sureste.

Cada unidad tiene una forma alargada y estrecha, con una entrada de solo 2,2 a 2,5 metros de ancho y una planta única, destinada a vestíbulo o cuarto de estufas. Un pequeño patio en forma de abanico da acceso a la planta baja de la sección de tres pisos, que funciona tanto como comedor y sala de estar, con escaleras independientes hacia el segundo y tercer piso para cada familia.



Foto 33 Edificio ShuiMei, pueblo de Dabian, municipio de Guanpi, condado de Zhaoan⁴⁶

Fuente:Google Map

10.3 *Tulou* en forma de *Bagua*

Bagua es un símbolo cultural transmitido desde la antigua China, en las casas hakka, la ubicación del *Tulou*, la casa de la ciudad para disipar los males son inseparables de la *Bagua*. Sin embargo, hay que utilizar los símbolos del *Bagua*, a saber, qian (☰), kun (☷), zhen (☳), kan (☵), li (☲), gen (☶), xun (☴) y dui (☱). Los ocho símbolos de 乾、坤、震、坎、离、艮、巽、兑 están directamente representados en el trazado del *Tulou*, lo que convierte a la propia casa en un octagrama, algo único e intrigante.

El Edificio Daoyun es un típico *Tulou* en forma de *Bagua*, construido en el año 1587 durante el reinado de Wanli en la dinastía Ming, y cuenta con tres plantas. Cada sección del edificio contiene nueve habitaciones, sumando un total de 72, lo que lo convierte en un *Tulou* de gran tamaño. La puerta principal está orientada al norte, mientras que la puerta lateral se encuentra ligeramente al sur del lado oeste, formando un amplio patio octogonal con un diámetro interior de 39 metros. En el centro del eje central, inclinado hacia el sur, se encuentra el *Citang*, una construcción de una planta que cuenta con tres salas y dos pozos distribuidos alrededor de la entrada.

Dentro del patio hay un muro bajo de aproximadamente 2 metros de altura que da hacia la puerta lateral suroeste, donde se encuentra la inscripción "石敢当(Shigandang)". Cada lado del edificio mide 39 metros de largo, con una circunferencia total de 314 metros y un diámetro exterior de 99,7 metros. El interior del edificio sigue una disposición típica de unidades habitacionales. Cada unidad estándar tiene forma de abanico, alargada y estrecha, con una anchura de solo 2,1 metros en la entrada y una profundidad de 29,5 metros.

⁴⁶ https://www.hakka.gov.tw/File/Attach/39750/File_75758.pdf

Al entrar por la pequeña portería, se accede a un vestíbulo de 5,3 metros de largo, seguido de un patio delantero de 4 metros, separado de las unidades adyacentes por un muro bajo en cada lado. Desde el patio se accede a un vestíbulo de una planta con una profundidad de 8,1 metros, seguido de una cocina y una sala abierta de 5,6 metros de largo alrededor de un pequeño patio. Al fondo, se encuentra un dormitorio de 3,4 metros de largo, con un *Tuqiang* de 2,3 metros de grosor sin ventanas.

Una escalera junto al vestíbulo abierto permite el acceso al pasillo de la segunda planta, y desde un lado del dormitorio de esta planta se sube al dormitorio de la tercera planta. Todo el edificio, de tamaño monumental, puede albergar a más de 500 personas.

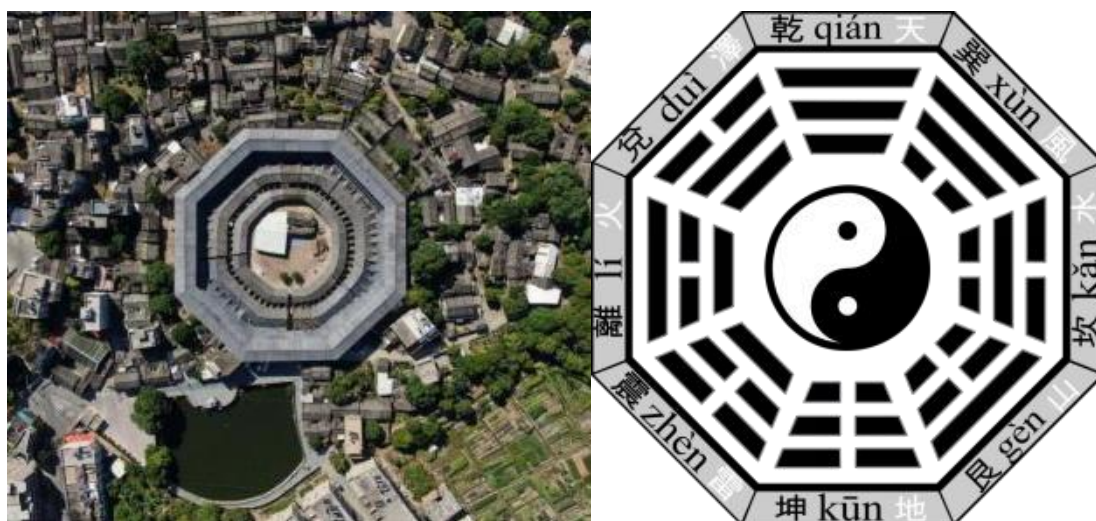


Foto 34 Edificio Daoyun y diagrama *Bagua*, pueblo de Nanlin, municipio de Sanrao, condado de Raoping, China⁴⁷

Fuente: La Agencia de Noticias Xinhua⁴⁸

⁴⁷ https://www.chinesethought.cn/shuyu_show.aspx?shuyu_id=2228

⁴⁸ http://www.news.cn/photo/2022-10/25/c_1129078685.htm



Foto 35 Edificio Naxun, aldea Shenglu, ciudad Guanxun, condado de Zhangpu, ciudad de Zhangzhou

Fuente: Recorrido autónomo de fotografía aérea de Zhangzhou⁴⁹

10.4 *Tulou* curvo

El *Tulou* en forma de arco evolucionó a partir del *Tulou* circular, conservando una orientación centrípeta y representando el núcleo familiar tradicional de sus habitantes. La estructura y escala de estos edificios no superan las dos plantas, siendo la mayoría de una sola planta. Por lo general, cuentan con un único círculo, aunque en algunos casos tienen dos. En el *Tulou* en forma de arco, la mayor parte del arco sobresale hacia la montaña, mientras que todas las puertas se orientan hacia el frente, en una disposición idéntica a la del *Tulou* circular, aunque, en la mayoría de los casos, el edificio se presenta abierto.

El edificio en forma de arco se diferencia del edificio redondo de estilo *Tubao*. Se encuentra

⁴⁹ <https://www.bilibili.com/video/BV11M4y1t7yX/?from=search>

situado en la montaña, orientado hacia el agua y dispuesto en forma de herradura alrededor del *Citang* o un lugar para secar arroz. Los *Tulou* de pequeña escala presentan un único círculo, mientras que los de mayor escala pueden contar con hasta cuatro o cinco círculos. Entre los círculos, existen amplios pasillos y zanjas de drenaje, lo que configura un conjunto de grupos arquitectónicos interrelacionados pero independientes. Ejemplos notables de esta estructura se encuentran en el Edificio Dexin ubicado en la aldea de Qiaoxiang, distrito de Meixian.

El Edificio Dexin presenta una disposición circular, con habitaciones orientadas hacia el patio para secar arroz, hay un *Citang* construido en su centro. Cada unidad consta de un dormitorio y una cocina, con un tejado de doble vertiente y una casa lateral de una sola vertiente. La entrada está en la casa lateral, que también sirve de cocina, mientras que la parte posterior alberga el dormitorio o sala para reuniones. Una escalera conecta con el dormitorio en el primer piso de cada unidad.



Foto 36 El Edificio Dexin ubicado en la aldea de Qiaoxiang, distrito de Meixian⁵⁰

Fuente: Gobierno Popular del Distrito de Meixian de la ciudad de Meizhou

⁵⁰ http://www.gdmx.gov.cn/zwgk/gzdt/xzdt/content/post_2033896.html

10.5 *Tulou* poligonal

Los *Tulou* poligonales, poco comunes, destacan por adaptarse ingeniosamente al terreno y al relieve. Su diseño aprovecha los beneficios de otras formas de *Tulou*, minimizando los ángulos rectos de las estructuras cuadradas y creando un espacio interior dinámico, adaptado a las elevaciones naturales del terreno, lo que lo convierte en una edificación rica en técnicas modernas de diseño.

Un ejemplo notable es el Edificio Shunyuan de la aldea de Gaodong, en el municipio de Guzhu, condado de Yongding. Este *Tulou* de cinco lados se encuentra junto a un arroyo y se apoya en una ladera empinada, con otros *Tulou* situados arriba. Aunque el entorno es desafiante, el diseño aprovecha esta condición. En el lado cercano al arroyo, se construyó un pequeño antepatio con una entrada en esquina que da acceso al vestíbulo en el primer piso del *Tulou*. A la izquierda del vestíbulo, se disponen cuatro habitaciones en línea con la pendiente de la cuesta, con una escalera de piedra al final que lleva al segundo piso. A la derecha, siete habitaciones bordean el lado del arroyo, y en el extremo diagonalmente opuesto al vestíbulo se ubica un *Citang*.

En el segundo y tercer piso, el diseño sigue un plan de cinco lados, aunque no de forma simétrica, con paredes exteriores suavemente curvadas en algunas secciones, especialmente en el lado frente al arroyo. Cada uno de estos pisos alberga 19 habitaciones, conectadas por tres escaleras y un pasillo interno, lo que facilita el tránsito y cohesión espacial dentro del edificio.

Existen dos tipos de *Tulou* poligonal: las cuadradas y las rectangulares. Sus características en común es los muros periféricos adoptan las líneas rectas como medio básico de composición.



Foto 37 Edificio Shunyuanyuan, pueblo de Gao Dong, municipio de Guzhu, condado de Yongding

Fuente : Google Map

11. Métodos tradicionales de construcción de *Tulou*

El procedimiento para la construcción de un *Tulou* consiste generalmente en 开地基 (Kaidiji)、打石脚 (Dashijiao)、行墙 (Xingqiang)、献架 (Xianjia)、出水 (Chushui)、装修 (rehabilitación) etc..

Libro oficial del código de construcción de la dinastía Song de la construcción de hakka *Tulou* 《营造法式》 (*Yingzao Fashi*)⁵¹ establece las normas de construir un muro. Si su grosor es de 3 pies (aproximadamente 33 cm por pie), debe tener una altura de 9 pies. Por encima de esta altura,

⁵¹ A través de este libro, se pudo conocer el nivel de la tecnología arquitectónica, el proceso y los conceptos estéticos de la dinastía Song del Norte. Cada parte de este libro especifica detalladamente todos los aspectos de la arquitectura, desde el diseño a la construcción, desde los materiales a la artesanía, abarcando casi todas las especificaciones técnicas relacionadas con la construcción.

el grosor del muro debe reducirse progresivamente a la mitad de su grosor original. Si la altura del muro se incrementa en 3 pies adicionales, el grosor debe aumentarse en 1 pie, y lo mismo ocurre cuando se reduce la altura.[43]

Este principio refleja la sabiduría acumulada de la tecnología china de construcción con *Shengtu*, perfeccionada a lo largo de miles de años y materializada en los logros más destacados de la civilización de la tierra cruda. En el caso de los hakka *Tulou*, el grosor de las paredes típicamente varía entre 1,3 y 1,6 metros, con una altura que oscila entre 12 y 18 metros. Sin embargo, también existen *Tulou* de 4 o 5 pisos, cuyas paredes tienen un grosor de solo 50-60 cm. Estos edificios son representativos de los tres tipos típicos de *Tulou*: el Edificio Wufeng (con paredes delgadas), los *Tulou* redondos y los *Tulou* cuadrados, y mantienen una fuerte conexión con la forma arquitectónica de la mansión de la nacionalidad Han en las Llanuras Centrales.[44]

En base de eso, para aumentar la integridad de la pared, ya que las casas de la dinastía Han comenzó a utilizar la dirección horizontal de los montantes de la pared, conocido como *Renmu*, también apareció en el hakka *Tulou*. Similar a la madera de tejer de otra práctica 骨墙 (*Guqiang*, *Tuqiang* que contiene esqueleto, madera y bambú como huesos del edificio), se divide en más de 1 pulgada de ancho piezas largas de bambú de bambú, como una barra de bambú sujeta en la pared de *Hangtu*, la altura de la pared cada 3, 4 pulgadas en la dirección de una capa de bambú, su espaciado horizontal de alrededor de 6 a 7 pulgadas. También se puede usar pequeñas ramas de pino como opción alternativa.

11.1 打石脚 *Dashijiao* (Cimentación y cimientos.)

Los cimientos de un muro se construyen en el paso de *Dashijiao*. Antes de colocar los cimientos, es esencial determinar el tipo y las características del edificio, como su forma (cuadrada o redonda), el número de plantas y habitaciones, todo ello en función del tamaño de la base, el número de habitaciones requeridas y los recursos disponibles, tanto materiales como financieros.

Para los *Tulou* cuadrados, se debe determinar la longitud de los lados, mientras que para los *Tulou* redondos, se debe calcular el radio. Durante este proceso, también se determinan el tamaño del edificio, su centro, el número de pisos y habitaciones, así como la ubicación de las paredes exteriores. Para un edificio cuadrado, se puede trazar la línea de planificación de la zanja de cimentación de la pared exterior en función del ancho diseñado de la pared. Este proceso se conoce como el "Ingeniero de reparto". En el caso de un edificio redondo, se debe localizar el centro del círculo a lo largo del eje central y usar una cuerda para dibujar la posición de las paredes exteriores e interiores. Al mismo tiempo, es fundamental trazar las aberturas y establecer la profundidad del edificio basándose en la información previamente obtenida lo que permitirá cavar la zanja para construir los cimientos.

El foso de cimentación se conoce comúnmente como 大脚坑 (Dajiaokeng), que se traduce como "huellas pisadas por gigantes", y se refiere a Dajiaokeng, que es la zanja ubicada bajo el suelo, mientras que 小脚坑 (Xiaojaokeng) se refiere al cimientos del muro y de la base del muro de cintura situada sobre el suelo. La anchura del cimiento grande suele ser el doble del cimiento pequeño, y la profundidad de la zanja depende de la calidad del suelo de la base del edificio y de la altura del mismo.

Si el *Tulou* tiene menos de tres plantas, la profundidad de la zanja debe ser de 60-80 cm. Después de excavar la zanja de cimentación, se construyen la base del muro, conocidos como *Dashijiao*. Los cimientos generalmente están hechas de adoquines de 50-60 cm de tamaño, y las esquinas de los *Tulou* cuadrados se construyen con cantos rodados enteros para garantizar la estabilidad de los cimientos en las esquinas. Las grietas entre las piedras se rellenan con piedras más pequeñas, asegurando que queden bien apretadas entre sí.

En el caso de las casas situadas frente a un río, se inyecta lechada de cal entre las piedras al colocarlas. Una vez completados los cimientos del *Tulou*, se rellena y apisona la tierra antes de construir la parte sobre el suelo.

La base del muro se construye con guijarros o piedras, y su método de colocación es muy preciso. Los guijarros deben colocarse con el lado grande hacia abajo y el lado pequeño

hacia arriba; las partes grandes deben mirar hacia el interior, mientras que las pequeñas deben mirar hacia el exterior. Los grandes se colocan en la parte inferior, y la parte superior de la piedra se divide gradualmente en capas internas y externas. Luego, el espacio central se rellena con guijarros o piedras pequeños/as.

Además, es necesario sellar las juntas con mortero y cal o utilizar mampostería húmeda *Shengtu* para asegurar que la base del muro sea más estable. Este método no solo evita la humedad, sino que también impide que las personas hagan palanca desde el exterior, lo que contribuye significativamente a la seguridad del edificio y previene el robo.

Los cimientos de guijarros colocadas en seco son más duraderas e irrompibles que las de mortero, ya que son resistentes al agua, a diferencia del mortero. Además, previenen la acción capilar y actúan como un agente antihumedad, ya que el agua subterránea no puede ascender a través de los cimientos.



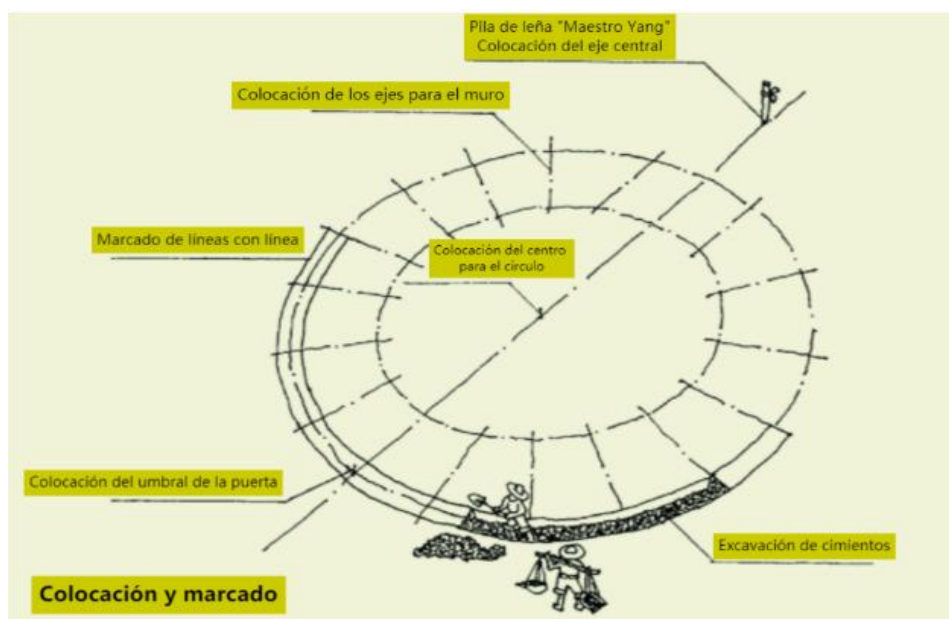


Foto 38 Moldes para *Hangtu* y colocacion y marcado

Fuente: Elaboración propia

11.2 行墙 *Xingqiang* (Muro de hilera) / *Tuqiang* apisonada/ 春墙 *Chongqiang*

En el *Tuqiang*, se colocan horizontalmente trozos de bambú o ramas de cedro. Generalmente, se colocan dos capas de barrotes en cada *Hangtu*, con una altura de aproximadamente 40 cm. Los extremos delanteros y traseros de las barras de bambú están alineados entre sí, formando un círculo, lo que en el pueblo hakka se conoce como 拖骨 (*Tuogu*, traduce como "hueso de arrastre", porque el bambú o la madera se pueden utilizar como esqueleto de un edificio). Las esquinas cuadradas de la pared exterior de tierra también se refuerzan con un tejido especial, es decir, con cedro más grueso o con tableros de cedro grueso fijados en forma de "L". En el lenguaje común se dice "siete de bambú, ocho de madera", porque el bambú cosechado en el séptimo mes del calendario lunar y el cedro cosechado en agosto contienen menos agua, lo que los hace menos susceptibles a las polillas y otros insectos. Estas medidas de refuerzo aumentan significativamente la integridad del *Tuqiang*.

El *Yingzao Fashi* describe detalladamente los métodos de construcción de muros, cimientos y la técnica de *Hangtu*. En este trabajo, se menciona que en la construcción de la capa de

Hangtu, se deben incorporar fibras de madera para reforzar la estructura.[43] Para asegurar la estabilidad y durabilidad de las paredes, las capas superior e inferior de tierra deben ser apisonadas de manera escalonada, evitando que las juntas queden alineadas. Cada capa de tierra debe apisonarse en una dirección opuesta a la de la capa anterior. Además, se recomienda apisonar simultáneamente las paredes interiores y exteriores del *Tulou* para garantizar la integridad de la estructura.

El *HangTuqiang* se repara y parchea antes de que la superficie se seque completamente. Esto se logra reforzando la superficie del muro mediante golpeteo en su interior y exterior con una claqueta, formando una capa dura en la superficie. Este proceso previene que el muro se encoja, se seque o se desconche rápidamente. Además, se utiliza una pala de barro para reparar áreas con exceso de espesor o para rellenar juntas y huecos en el bastidor horizontal.

Este tapado no solo refuerza y da un acabado pulido al muro, sino que también corrige posibles inclinaciones y contracciones irregulares. Debido a los efectos del sol y el viento, las velocidades de secado y contracción de grandes superficies de *Tuqiang* no son uniformes. Por lo general, el lado sombreado se seca más lentamente, lo que hace que el muro tienda a inclinarse hacia ese lado. Por lo tanto, el golpeo en el lado sombreado debe ser más firme para corregir esta inclinación.



Foto 39 Operación de construcción de *Tuqiang*

Fuente: Elaboración propia

La pared de *Tuqiang* ordinaria tiene un espesor de aproximadamente 40 cm. Para las paredes de *Shengtu* apisonadas en seco o en húmedo, el espesor es de unos 30 cm. En el caso de los *Tulou* a gran escala, la parte inferior de la pared suele ser más gruesa, a menudo superando los 1 m e incluso alcanzando hasta 2,5 m, mientras que el espesor de la parte superior de la pared es solo la mitad o un tercio del espesor de la parte inferior.

El proceso de eliminado de puntos se realiza de la siguiente manera: la pared exterior se elimina ligeramente de abajo hacia arriba, de manera continua y en diagonal, conforme a lo que establece el *Yingzao Fashi*. En cuanto a la pared interior, se recoge en escalones, con una capa de puntos por piso, generalmente reduciendo el espesor en 3-5 pulgadas (10-18 cm) por capa. La sección de las juntas está perfectamente alineada con la quilla de madera del suelo, donde se excava una ranura para encajarla. [43] Este proceso reduce el peso del muro, baja el centro de gravedad y mejora la estabilidad de la estructura.

A menos que el suelo sea de excelente calidad y las condiciones climáticas sean favorables, la construcción apisonada de un gran *Tulou* solo puede realizarse durante una semana al día hasta que el *Tuqiang* esté seco. Normalmente, solo se pueden construir uno o dos pisos al año, por lo que es común preparar un lote de tierra para construir solo uno o dos pisos. Durante este proceso, el *Tuqiang* debe protegerse con cáscaras de grano y corteza de árbol para evitar el daño por la lluvia.

El *Hangtu* de un *Tulou* sigue un proceso similar en toda su estructura, comenzando desde la base hasta la parte superior. Según el *Yingzao Fashi*, el método de construcción de los muros y cimientos no solo se limita al apisonado, sino que también se intercalan capas de *Hangtu* con ladrillos rotos, tejas, y montones de piedras. Además, se emplea leña y se clavan estacas en algunas capas. En los *Tulou* de los hakka, es común disponer varios círculos de ladrillos rotos y piedras en las capas de *Hangtu*, que sirven como protección contra la humedad.[43]

En el caso de las ventanas en los *Tuqiang*, las vigas de madera y los marcos de las ventanas se entierran previamente durante el proceso de apisonado, y luego se excavan los agujeros

de las ventanas cuando la habitación entra en uso. Algunos *Tulou* y *Tubao* están equipados con cañones defensivos y agujeros para disparar, los cuales se hacen principalmente de piedra cincelada en forma de cañones o enterrados en las paredes con tubos de bambú. La chimenea de la cocina en la planta baja también se construye previamente con un tubo plano de cerámica cuadrado o redondo, inclinado hacia arriba dentro de la pared. Esto garantiza que las aberturas sean robustas y estéticamente agradables, además de reducir la complejidad de la operación de apisonado del muro.

Una vez colocadas los cimientos y dejado secar la parte de *Sanhetu*, se prepara el encofrado para apisonar la pared. En el proceso de apisonar la primera capa del muro, se utiliza una pequeña tabla badajera para crear una esquina doblada en la unión entre el muro y la base. Generalmente, cada capa del muro tiene una altura de 1,2 pies, dividida en cuatro o cinco capas de tierra, que se apisonan repetidamente por dos personas que se posicionan sobre las pilas de tierra. Cada capa del muro debe reforzarse con dos ramas de bambú o cedro de aproximadamente 2 metros de largo como "esqueleto/agregado", y se colocan dos trozos cortos de bambú o madera en cada uno de los dos voltios de tierra para aumentar la fuerza de tracción y garantizar que el muro no se incline ni se agriete.

En el caso de las construcciones de *Tulou* cuadradas, se colocan cedros más gruesos en las esquinas, fijándolos transversalmente en forma de "L" como montantes para mejorar la integridad del muro. Antes de apisonar una capa de la "escuadra de pared", se cuelga un plomo en ambos extremos del deflector para asegurarse de que la pared sea perpendicular. Por lo general, se apisona una línea de pared cada semana; después de una semana, se apisona la segunda capa, alternando la dirección positiva y negativa del apisonado, lo que asegura que la pared sea más sólida. Al mismo tiempo, se debe rociar agua sobre la pared apisonada para que las capas superior e inferior se integren correctamente. Generalmente, después de apisonar una capa, se deja de trabajar durante seis meses para que el muro se seque y endurezca antes de apisonar la siguiente capa.

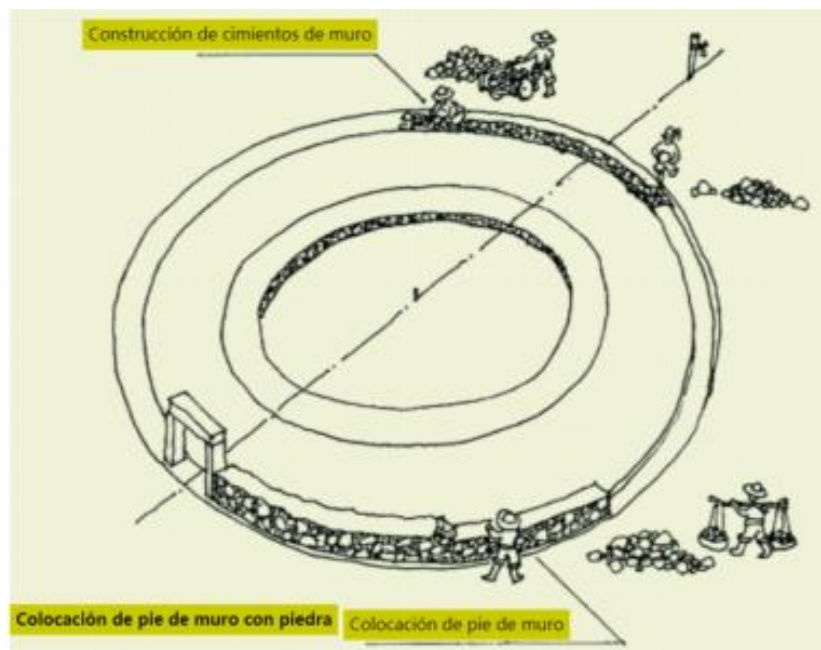
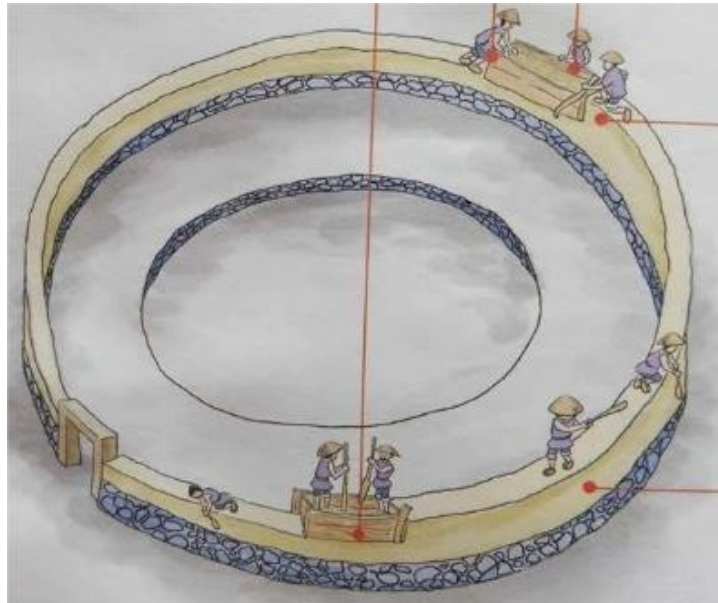


Foto 40 Colocación de pie de muro con piedra

Fuente: Elaboración propia

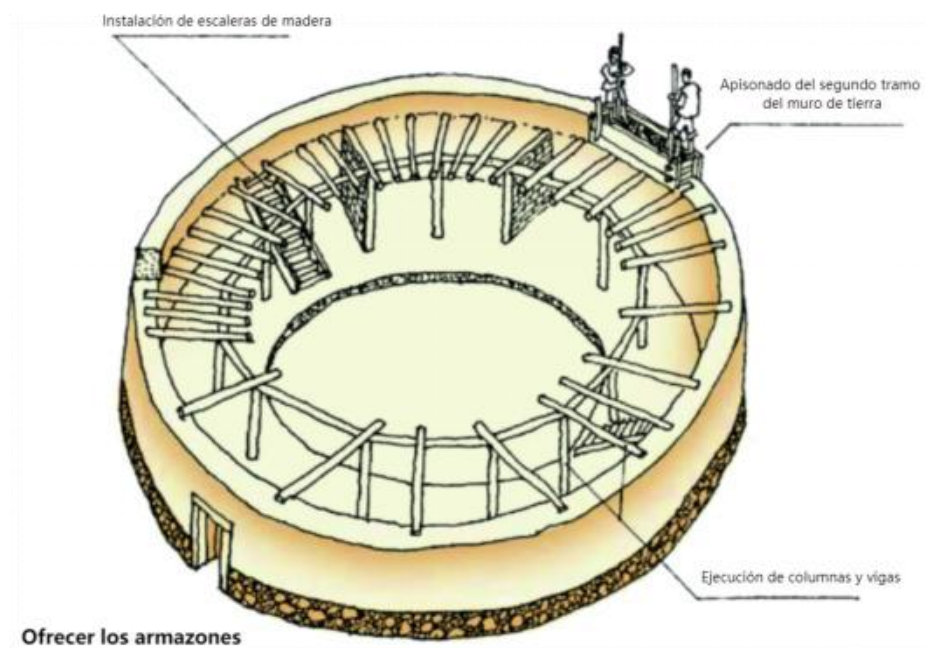
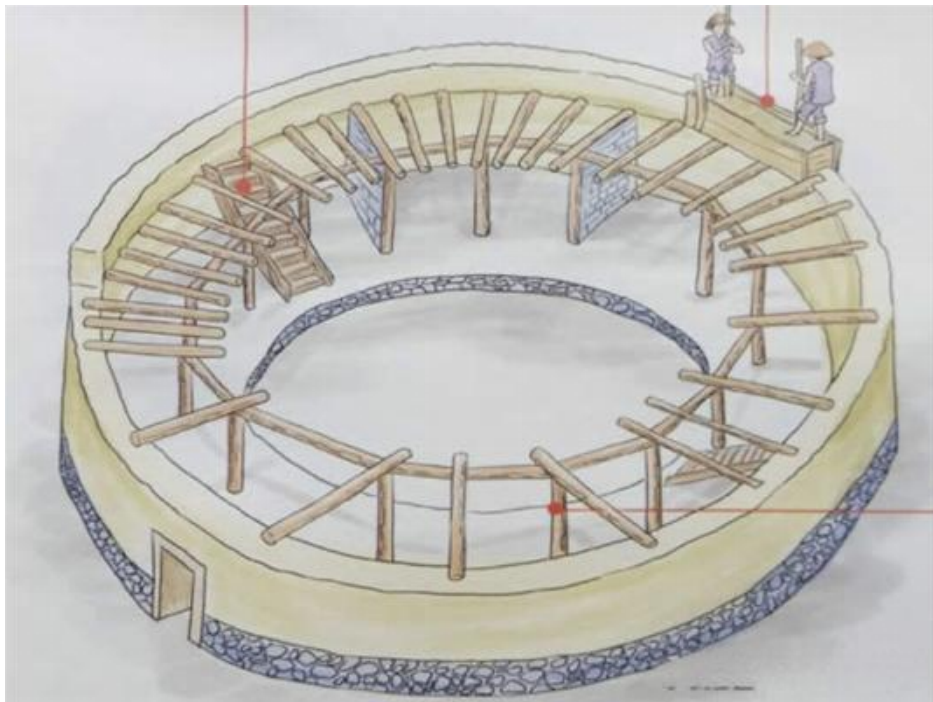
La primera etapa de la construcción del *Tuqiang* se lleva a cabo en dos fases. En la primera fase, se realiza el *HangTuqiang* cada 8 o 9 centímetros de ancho y largo, aplicando dos golpes consecutivos de mortero para que la tierra se adhiera firmemente entre sí.

La segunda fase consiste en reparar el muro antes de que se seque completamente. El primer paso es palmear la pared sólidamente con una tabla grande. Si la pared presenta áreas gruesas o desplazadas, se utiliza una pala de barro para quitar el exceso y luego se palma con la tabla grande para compactarla correctamente. El siguiente paso es reparar la pared con barro fino y usar la tabla pequeña para palmear, logrando así una superficie más limpia y lisa. Este proceso no solo mejora la unión de las capas de la pared, sino que también contribuye al acabado estético de la superficie. Después de este trabajo, el *Tuqiang* resultante es excepcionalmente fuerte, con una alta resistencia a la erosión y a los terremotos, lo que explica por qué se puede construir un edificio de hasta 20 metros de altura con un *Tuqiang* de aproximadamente 1 metro de grosor.

El muro de todo *Tulou* es más ancho en la base y se estrecha en la parte superior, lo que requiere que el muro se apisone de abajo hacia arriba. La cara interior del muro debe estar alineada con la almohada del tejado y poder ser cubierta por el forjado. Al mismo tiempo, es necesario permitir que el muro esté orientado hacia el lado sombreado, ya que el lado expuesto al sol se seca y contrae más rápidamente, mientras que el lado sombreado se seca de forma más lenta y uniforme. De este modo, el muro se contraerá hacia el lado soleado para evitar que se incline.

El grosor de la pared inferior de los hakka *Tulou* generalmente varía entre 1,2 m y 2 m. Por ejemplo, la altura total de la pared exterior del Edificio Huaiyuan es de 13,5 m, y el grosor de la pared inferior es de 1,3 m. Si el *Tulou* se construyera siguiendo las disposiciones del *Yingzao Fashi*, el grosor de la pared inferior debería ser de entre 4,1 m y 4,3 m.[43] Que una pared tan delgada en los hakka *Tulou* sea capaz de cumplir con los requisitos de solidez indica que se ha logrado una valiosa experiencia en el tratamiento de los cimientos, el uso de paredes de *Hangtu*, el tratamiento de la pared y los métodos de construcción con *Hangtu*.

11.2.1 Formas comunes de hacer *Tuqiang*



Fuente: Elaboración propia

Los *Tuqiang* ordinarios están hechos de tierra roja, barro de cumbrera, barro de muros viejos y mampostería triturada, los cuales se mezclan con agua hasta obtener una consistencia

moderadamente húmeda y luego se apisonan. Debido a este proceso, la resistencia de los muros es limitada, por lo que generalmente se emplean en *Tulou* de pequeña altura, de dos o tres pisos. Una vez que se inicia el proceso de apisonado, es necesario continuar trabajando hasta que se termine de construir el tejado. La presión del tejado y la tensión de las vigas son cruciales para evitar que el *Tuqiang* se incline mientras se seca.

11.2.2 Haciendo *Tuqiang* (*Shengtu* y arcilla húmeda)

Por lo general, la fórmula para el *Sanhetu* de apisonamiento húmedo, en cuanto a la proporción de marga roja, cal y arena, es de 1:2:3. Este material no requiere que la tierra esté completamente seca, pero no debe ser demasiado blanda para evitar que se deforme después del apisonado. Para reducir el costo y mejorar la resistencia, el núcleo del muro se rellena con piedras, lo que también disminuye la cantidad de *Shengtu* necesario.

Además, cuando las piedras se compactan con el hormigón húmedo, la resistencia del muro aumenta considerablemente en comparación con los muros de piedra tradicionales hechos con mortero. El contenido de humedad del *Shengtu* se mide generalmente utilizando el método de "enrollar apretadamente una bola de material y extenderla en el suelo".

La cal en el hormigón apisonado húmedo reacciona lentamente con la sílice reactiva de la tierra roja y la grava en condiciones de humedad, formando sustancias endurecedoras como el silicato cálcico hidratado. Este proceso mejora considerablemente la resistencia del material. Por lo tanto, el *Shengtu* fresco no solo se mezcla de manera mecánica, sino que sus propiedades físicas y químicas se modifican, resultando en un material más resistente. [45]

Los grandes Edificios de Wufeng de Yongding, Fushi y Kanshi, ubicados en el oeste de Fujian, se construyen principalmente con *Shengtu* húmedo. Sus vestíbulos traseros pueden alcanzar hasta seis pisos de altura. Durante el proceso de apisonado húmedo, se puede aumentar la cantidad de arena, y las partículas de arena se mezclan con tierra roja y cal. Esto mejora la dureza del material, lo que le permite resistir la humedad sin deteriorarse por la lluvia.

Otro ejemplo típico relacionado con esta teoría es el caso de los *Tulou* en la parte baja del río Jiulong, en Zhangzhou, al sur de Fujian. Se encuentra una abundante fuente de arena de cuarzo, que sigue siendo una de las principales fuentes de arena para el hormigón. Aunque los muros de los *Tulou* en esta zona son relativamente delgados (los muros de los *Tulou* de cuatro o cinco plantas tienen solo 40-50 cm de grosor), son extremadamente duros y capaces de resistir la erosión provocada por la brisa marina durante mucho tiempo.

11.2.3 Especial Sanhetu

Existe una receta especial de Sanhetu que consiste en añadir tres ingredientes comestibles: arroz glutinoso, azúcar moreno y clara de huevo, a las triadas húmedas apisonadas. Estos tres ingredientes actúan como excelentes aglutinantes y agentes de curado, y se necesita solo una pequeña cantidad para aumentar significativamente la dureza del Shengtu. Pueden utilizarse por separado o combinados.

La práctica general para su preparación es la siguiente: primero, se muele el arroz glutinoso hasta convertirlo en polvo, luego se mezcla con agua fría. Posteriormente, se añade una gran cantidad de agua hirviendo para formar una pasta fina. A esta pasta se le agrega azúcar moreno y clara de huevo. Estos ingredientes se incorporan a la *Sanhetu* cocida, que debe estar fina, bien mezclada y uniformemente apisonada. Este tipo de *Tuqiang* se vuelve muy duro una vez seco, lo que dificulta clavarle clavos de hierro. Además, es capaz de resistir las inclemencias del viento y la lluvia durante cientos de años.

Algunas personas han especulado que en el *Sanhetu*, el arroz glutinoso se mezclaba con el hormigón y se apisonaba, mientras que el azúcar moreno y la clara de huevo se añadían directamente al hormigón. Sin embargo, esto no es posible. Estos tres ingredientes necesitan ser mezclados con agua para convertirse en un aglutinante, lo que hace que se integren de forma inseparable con el hormigón. Si el arroz, el azúcar, etc., se colocaran directamente en el suelo, estarían expuestos a la erosión de insectos y hormigas, lo que representaría un peligro a largo plazo para la estructura del *Tuqiang*. Esto sería perjudicial con el tiempo.

Además, algunos de estos materiales se utilizan en tratamientos decorativos. Por ejemplo, algunos *Tulou* decoran las paredes interiores con polvo de helecho, que se obtiene de las raíces de una planta silvestre. Este polvo, además de su función decorativa, también tiene una historia interesante: es un medio de almacenamiento de alimentos y preparación para tiempos de escasez, ya que las raíces y tallos de esta planta silvestre pueden ser utilizados para hervir alimentos en caso de hambre prolongada. Esta práctica es especialmente común en los hakka *Tulou* en sur de la provincia de Jiangxi, donde se utiliza tanto en la decoración como en la preparación de alimentos durante tiempos difíciles.

11.3 Construcción de marcos de madera/献架 *Xianjia* (marcos de dedicación)

Cada capa de la pared de *Hangtu* debe tener una ranura bien excavada en la parte superior, donde se colocarán las capas de madera, pilares y vigas de madera. Este trabajo es realizado por el carpintero y se denomina *Shangjia* (empezado el proceso de *Xianjia*). La colocación de la primera capa de pilares de madera debe realizarse en un día propicio, comenzando el trabajo desde la sala principal.

El exterior de cada piso se apoya en un *Tuqiang*, que actúa como muro de carga, mientras que el interior se sostiene sobre pilares de madera. Normalmente, se levanta una viga entre los pilares de madera, sobre la cual se apoyan varias viguetas en cada habitación. El otro extremo de las viguetas se apoya directamente en el muro exterior. El suelo se coloca sobre las viguetas y se fija con clavos de bambú (evitando el uso de clavos de hierro para prevenir la oxidación).

El extremo de la vigueta apoyado en el *Tuqiang* debe estar ligeramente elevado, para que, cuando el muro se seque y se encoja, el suelo se mantenga a la altura adecuada. El encogimiento del *Tuqiang* varía según la calidad del suelo en las diferentes zonas; en ocasiones se encoge entre 2 y 3 centímetros, y en otras hasta 7 u 8 centímetros. Cada vez que se apisona una capa de *Tuqiang* alto, se excava una ranura en el *Tuqiang* para insertar la quilla de madera del suelo. En la separación de las aberturas, se coloca un pilar y sobre él

una viga, un proceso conocido como “*Xianjia*”.

El *Tuqiang* periférico del *Tulou* sirve como muro de carga, y un extremo de la quilla de madera del suelo se inserta directamente en el *Tuqiang*, a veces apoyado en pilastras. El otro extremo se levanta sobre un travesaño con un pico de más de 3 pies, formando un pasillo. Las tablas de madera del suelo (llamadas *Peng*, o "cabaña" por los hakka) se extienden sobre la quilla de madera. La quilla, apoyada en el *Tuqiang* en un extremo, se planta adecuadamente, de modo que, cuando el *Tuqiang* se contrae durante el secado, el suelo se mantiene nivelado.

Si la pared divisoria de una habitación también está hecha de *Hangtu*, la quilla de madera se coloca directamente sobre el submuro, y una viga corta de piquete se extiende dentro de este submuro para apoyar el corredor. Los tablones se unen entre sí mediante juntas o espigas solapadas, y la quilla se sujeta con clavos de bambú. Estos clavos, a menudo hechos con viejas cabezas de bambú endurecidas, se saltean en arena caliente en un wok de hierro, lo que los hace tan duros como los clavos de hierro, pero sin riesgo de oxidación o corrosión.

El proceso de *Xianjia* no solo preserva la estructura de madera completa de la casa, sino que también le otorga otras funciones. Durante la construcción con tierra apisonada, los trabajadores pueden pararse directamente sobre la estructura de madera, eliminando así la necesidad de montar andamios.

11.4 出水 Chushui (Alicatado y tapado)

Cuando el *Tulou* se construye hasta el último piso, se coloca una gran viga (comúnmente conocida como "viga portante") en cada intersticio, que levantan las partes delantera y trasera, sirviendo como soporte para los aleros. Por lo general, el alero exterior es más grande, algunos alcanzando hasta 3 metros, con el fin de proteger el *Tuqiang* de la lluvia. El marco de madera utilizado para sostener el tipo de techo de cubo sigue un método relativamente sencillo: las vigas y columnas se colocan sobre la correa del marco, y la correa

se fija a las vigas. Finalmente, las vigas se colocan sobre el tablero del mirador, y el tablero del mirador se cubre con las tejas de tela.

En cuanto a las tejas de los *Tulou* redondos, los hakka no se atrevieron a utilizar tejas de bambú, como se hace en el estilo oficial del norte. En su lugar, adoptaron la práctica de 剪瓦 (Jianwa), es decir, los tejados redondos se diseñan de manera similar a los tejados planos, dejando el techo triangular para rellenar. Si el diámetro de los edificios redondos es mayor y el arco es suave, la anchura de las tejas se ajusta adecuadamente para compensar la diferencia.

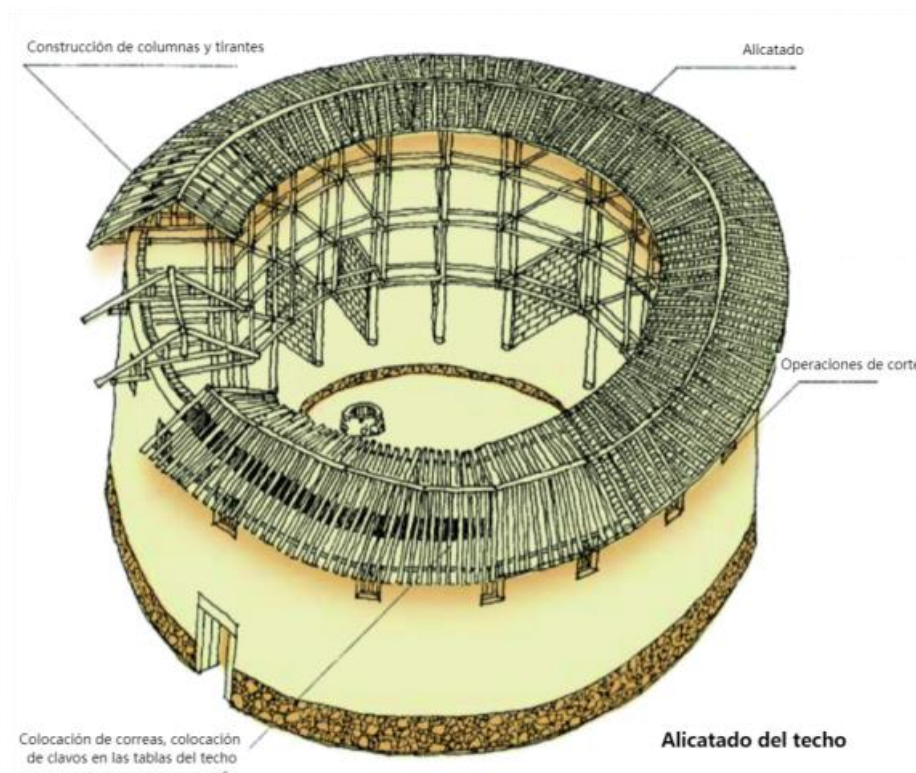
Una vez sellado el tejado del *Tulou*, comienzan los trabajos de decoración interior y exterior, que incluyen la erección de escaleras, entarimados, balaustradas, la instalación de puertas y ventanas, la reparación de estufas, pedestales, escalones de piedra, canalones, pavimentación, ect..

En cuanto a la decoración del *Tuqiang*, que es también el último proceso en la construcción del *Tulou*, después de que el *Tuqiang* se haya contraído y secado en un período de dos a tres años tras la construcción, las paredes interiores y exteriores del *Tuqiang* se pintan con cal de machete. Esto hace que el *Tulou* adquiera un acabado de paredes blancas y baldosas grises. Sin embargo, solo los *Tulou* más exquisitos cuentan con esta decoración, por lo general, solo se utiliza cal blanco para decorar las puertas y los marcos de las ventanas. Esto da lugar a un aspecto de los *Tulou* que presenta un estilo puro, robusto y profundo.

Los grandes *Tulou* suelen construirse una planta por año, mientras que los de tres o cuatro plantas tardan entre tres y cuatro años en completarse. El techo de tejas comienza a cubrirse después de apisonar la pared superior, y este proceso también se conoce como 出水 (*Chushui*, significa fuera del agua). El método para cubrir las tejas consiste en colocar la ranura de la teja en forma de arco hacia abajo, cubriéndola en la esquina de la junta. En la parte superior de la estructura del techo, se colocan vigas horizontales con una anchura de 10 cm y tablas de cedro de 3 cm de espesor, sobre las cuales se coloca la teja con la cara curva hacia arriba. Luego, ambos lados de las tejas se presionan para cubrir la ranura de las

tejas.

En la fase 瓦口 (*Wakou*, una estructura de construcción de techo), generalmente se apilan varios azulejos (por lo general cinco) para aumentar el grosor de la boca y evitar que el viento sople hacia abajo o que fuerzas externas los rompan, lo que podría resultar en la pérdida de las tejas o filtraciones. Antes de colocar las tejas, se unta una capa de barro de cal para fijarlas adecuadamente, y este proceso se denomina "hacer la boca de las tejas", o simplemente "hacer *Wakou*". Una vez terminado el tejado, se considera completa la estructura principal del *Tulou*.



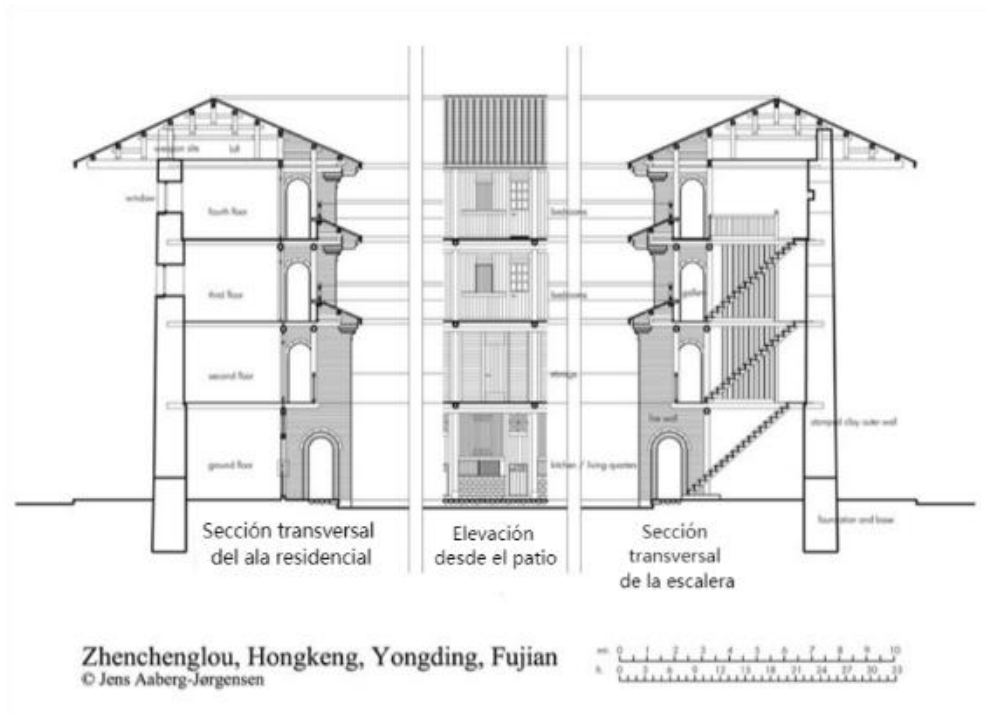


Foto 41 Cross Section of a Typical *Tulou* /Sección transversal de un *Tulou* típico

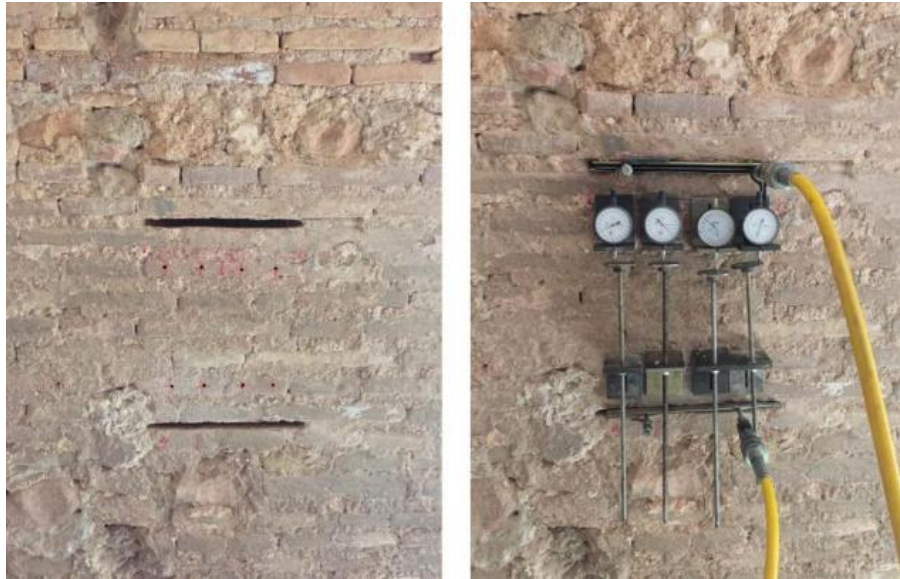
Fuente: Aaberg-Jørgensen

12. Plicación y análisis de las técnicas de mantenimiento de los edificios Hakka *Tulou*

12.1 Ventajas e inconvenientes de las herramientas de comprobación utilizables

12.1.1 Ensayo de gatos planos (flat-jack test)

Al inicio de la prueba, el instrumento se fija firmemente a la superficie del *Tuqiang*, asegurando un buen contacto entre el dispositivo y el material. Esto permite que la fuerza ejercida por el instrumento se transfiera eficazmente a la estructura del *Tuqiang*. Mediante una bomba hidráulica u otra fuente de aire, el instrumento se infla gradualmente y se despliega sobre la superficie del *Tuqiang*.



Fuente:Screeningeagle⁵²

A medida que el instrumento se infla, se expande sobre la superficie del *Tuqiang*, ejerciendo presión sobre ella. Esta presión se considera una fuerza de compresión que se propaga a lo largo de la superficie del *Tuqiang*, simulando la carga de compresión real aplicada al material. Debajo del instrumento se encuentra un transductor de presión, que mide la presión ejercida sobre la superficie del *Tuqiang*. Este valor de presión se registra y puede ser utilizado para análisis posteriores.

Una vez finalizada la prueba, la bomba hidráulica libera la presión, provocando que el instrumento se contraiga y se retire de la superficie del *Tuqiang*, garantizando que la prueba no sea destructiva. El valor de presión medido se somete a un procesamiento de datos y cálculos, que generalmente se combinan con parámetros como el módulo de elasticidad del *Tuqiang* para estimar la resistencia a la compresión del material. Esta estimación se basa en principios de la ciencia de los materiales y en relaciones empíricas.

Modo de empleo:

Prepare un instrumento especial y una bomba hidráulica. Monte el instrumento sobre la superficie del *Tuqiang* y conéctelo a la bomba hidráulica.

⁵² <https://www.screeningeagle.com/es/products/equotip-piccolo-2-bambino-2>

Infle lentamente el instrumento de seguridad, aumentando gradualmente la presión bajo el dispositivo para que se despliegue y se adhiera a la superficie del *Tuqiang*.

Mida la presión bajo el instrumento utilizando el transductor de presión y registre el valor obtenido. Este valor está relacionado con el módulo de elasticidad del *Tuqiang*.

Libere la presión bajo el instrumento para separarlo de la superficie del *Tuqiang*.

El valor de presión medido y otros parámetros relevantes se utilizan para calcular la resistencia a la compresión del *Tuqiang*.

Ventaja:

-El ensayo de gatos planos es un método ligeramente destructivo que no causa daños significativos a la estructura del *Tuqiang*.

-La prueba es relativamente sencilla y puede realizarse varias veces en el mismo sitio para obtener más datos, aumentando así la confiabilidad de los resultados.

-Puede utilizarse en diversas estructuras de *Tuqiang*, como puentes, edificios y otras infraestructuras.

-Los cambios de presión bajo los instrumentos de seguridad pueden ser monitorizados en tiempo real durante la prueba, proporcionando datos instantáneos.

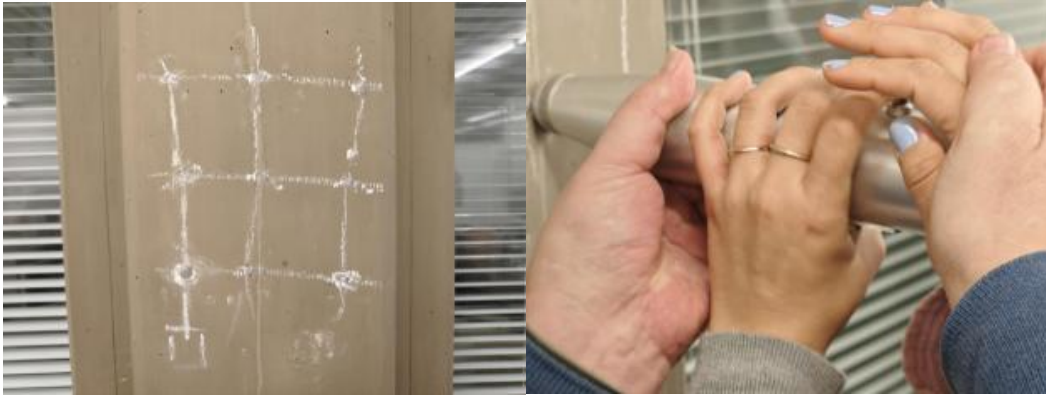
Desventajas:

-Los resultados de las pruebas reflejan principalmente las propiedades de la superficie del *Tuqiang*, con un conocimiento limitado de la estructura interna más profunda.

-La precisión de la prueba y la interpretación de los resultados pueden depender del nivel de experiencia del operador.

-Los entornos con temperaturas extremas (altas o ultrabajas) pueden afectar al rendimiento del Instrumento de Seguridad, por lo que se requieren controles ambientales adecuados.

12.1.2 Esclerometro



Fuente:Elaboración propia

Principio de elasticidad: El principio fundamental del esclerometro se basa en el principio de elasticidad en las pruebas de impacto. Cuando un elastómero (como el *Tuqiang*) es sometido a una fuerza externa, se deforma elásticamente y luego retorna a su forma original.

Uno de los principales componentes del esclerometro es una bola metálica con una geometría estándar, generalmente hecha de acero al tungsteno. Esta bola se denomina "dispositivo de impacto". Durante la prueba, el dispositivo de golpeo se presiona firmemente contra la superficie del *Tuqiang* y es accionado por un resorte, lo que permite golpear la superficie con una cantidad determinada de energía. La superficie seleccionada para el impacto suele ser la de la estructura del *Tuqiang*, como una pared, columna, viga, etc.

El golpeador rebota al chocar contra la superficie del *Tuqiang*, y el esclerometro mide la velocidad de rebote o el valor de rebote mediante un mecanismo de resorte incorporado. Un valor de rebote más alto indica que la superficie del *Tuqiang* es más dura, mientras que un valor de rebote más bajo sugiere que la superficie es más blanda. Existe una relación entre el valor de rebote y la dureza del *Tuqiang*. Utilizando una curva de conversión normalizada o una tabla de consulta, el valor de rebote se puede convertir en la dureza de la superficie del *Tuqiang*.

Para garantizar la precisión de las mediciones, es fundamental calibrar regularmente el

esclerometro. Se debe utilizar un bloque de calibración estándar o una superficie de *Tuqiang* estándar para confirmar el rendimiento del instrumento.

Aunque este método no es tan fiable como el ensayo de compresión, se utiliza ampliamente debido a su simplicidad. Proporciona una aproximación y se emplea principalmente como un método de comprobación, siendo una alternativa menos precisa en comparación con las pruebas de compresión tradicionales.

Modo de empleo:

Condiciones adecuadas de funcionamiento para realizar la calibración necesaria antes de comenzar las mediciones. Antes de medir, limpie la superficie del *Tuqiang* para asegurarse de que no haya polvo ni otros contaminantes que puedan interferir en los resultados.

Coloque el reloj de arena sobre la superficie a medir, asegurándose de que haga un contacto perpendicular adecuado con la superficie del *Tuqiang*.

Golpee la superficie del *Tuqiang* con el dispositivo de golpeo del instrumento para producir un sonido de rebote y obtener los datos de rebote correspondientes.

Registrar los datos de rebote, que normalmente se expresan como valores del Schmidt Hammer, para su posterior análisis. Este método se utiliza comúnmente para determinar la resistencia a la compresión de estructuras de *Tuqiang*, como columnas, muros y pavimentos. El principio de funcionamiento se basa en un peso cargado con un muelle, el cual se lanza contra el *Tuqiang*, y se mide la fuerza del rebote.

El golpeador rebota al chocar contra la superficie del *Tuqiang*, y el esclerometro mide la velocidad de rebote o el valor de rebote mediante un mecanismo de resorte incorporado. Un valor de rebote más alto indica que la superficie del *Tuqiang* es más dura, mientras que un valor de rebote más bajo sugiere que la superficie es más blanda. Existe una relación entre el valor de rebote y la dureza del *Tuqiang*. Utilizando una curva de conversión normalizada o una tabla de consulta, el valor de rebote se puede convertir en la dureza de la superficie del

Tuqiang.

Para garantizar la precisión de las mediciones, es fundamental calibrar regularmente el esclerometro. Se debe utilizar un bloque de calibración estándar o una superficie de *Tuqiang* estándar para confirmar el rendimiento del instrumento.

Ventajas:

-Mide la dureza de la superficie con relativa rapidez y es adecuado para evaluar grandes áreas de estructuras de *Tuqiang*.

-No requiere dañar la estructura de *Tuqiang*, lo que permite realizar las mediciones sin comprometer la integridad estructural. Este dispositivo puede ser utilizado en entornos reales de ingeniería, como en obras de construcción, y es ideal para el control de calidad in situ.

-Costo relativamente bajo en comparación con algunos equipos avanzados de ensayo de dureza para *Tuqiang*.

-El esclerometro ofrece una buena repetibilidad de los ensayos cuando se utiliza en condiciones de funcionamiento estándar.

Desventajas:

-Los resultados del ensayo pueden verse afectados por factores como la rugosidad de la superficie, la humedad y el color del *Tuqiang*, por lo que deben interpretarse con cautela.

-Solo mide la dureza superficial del *Tuqiang* y no es capaz de evaluar las propiedades internas del material en profundidad.

-Menor precisión en comparación con algunos métodos avanzados de ensayo de dureza para *Tuqiang*.

-El mal funcionamiento o uso inadecuado del instrumento puede afectar la precisión de la medición, por lo que es esencial realizar un mantenimiento y calibración periódicos para

garantizar resultados fiables.

12.1.3 Extractómetro



Fuente: Construcción⁵³

El extractómetro es un dispositivo utilizado para medir la adherencia y la resistencia a la tracción de *Tuqiang*, mortero y revestimientos. Puede emplearse tanto en el laboratorio como en el campo. Gracias a un sistema hidráulico y una manivela, se puede aumentar la presión y aplicar la carga necesaria a la muestra de forma precisa y casi uniforme, sin causar deformaciones.

Modo de empleo:

Preparar la muestra de *Tuqiang*, mortero o pintura que se va a ensayar, asegurándose de que su superficie esté limpia y plana.

Colocar la muestra en el banco de pruebas del extractómetro para garantizar su estabilidad durante la prueba.

Utilizar el sistema para aplicar la carga necesaria y comenzar a registrar los datos de la prueba. Esto implica medir diversos parámetros de adhesión y resistencia a la tracción, como

⁵³ <https://www.patologiasconstruccion.net/tag/adherencia/>

la relación entre carga y desplazamiento.

Registrar los resultados de la prueba una vez finalizada, incluyendo parámetros como la adherencia y la resistencia a la tracción.

Ventajas:

-Control preciso: El sistema hidráulico y la manivela del Extractor permiten un control preciso de la carga aplicada. Esto significa que el usuario puede realizar los ajustes necesarios para garantizar que la carga aplicada cumple los requisitos del ensayo. Este control preciso contribuye a garantizar la precisión y fiabilidad del ensayo y permite al usuario realizar ajustes en tiempo real durante el ensayo.

-Carga uniforme: La carga casi uniforme que proporciona el extractor garantiza que la fuerza aplicada a la probeta de ensayo se distribuya uniformemente.

Esto garantiza resultados de ensayo repetibles y precisos, ya que cada parte de la muestra se somete a una fuerza similar.

Adecuado para uso sobre el terreno y en laboratorio: el extractor puede utilizarse tanto en entornos de laboratorio como para ensayos sobre el terreno. Como tal, es una herramienta versátil, capaz de satisfacer las necesidades de diferentes escenarios. En las pruebas de campo, la flexibilidad y portabilidad del extractor lo convierten en una solución conveniente para realizar pruebas directamente en la obra.

Desventajas:

-Debido a su complejo diseño y a su sistema hidráulico, el extractor puede resultar caro. Esto puede hacerlo menos práctico para algunos proyectos presupuestarios.

-Hay que sopesar el rendimiento y el coste para determinar si merece la pena invertir en el equipo o si se pueden utilizar otros métodos de ensayo más rentables.

-Para los operarios, el uso de un extractor puede requerir cierta experiencia y habilidad. Por

ejemplo, ajustar correctamente las cargas y asegurarse de que las muestras se fijan correctamente puede requerir cierta habilidad y comprensión. Los operarios deben familiarizarse con el manual de instrucciones del -equipo e, idealmente, haber recibido formación para asegurarse de que son capaces de manejar el equipo correctamente y obtener resultados de ensayo precisos.

-Como instrumento de precisión, el extractor puede requerir un mantenimiento y calibración periódicos para garantizar su rendimiento y precisión.

-El mantenimiento periódico incluye la limpieza, lubricación, calibración y comprobación del funcionamiento del sistema hidráulico y la manivela. Esto requiere experiencia y tiempo.

12.1.4 La tecnica de ultrasonido





Fuente:Elaboración propia

La velocidad de propagación de las ondas depende del medio, su elasticidad y densidad. En este caso, utilizando la relación entre la probeta de ensayo y la indicación, es posible determinar la probeta de mayor y menor densidad. A menor relación de densidad, mayor será la cantidad de agua presente, lo que resulta en poros más pequeños, menor cantidad de aire ocluido y menos obstáculos para la propagación de las ondas. En este sentido, cuanto mayor sea la densidad, menos obstáculos (por ejemplo, aire, refuerzo lateral, agregado) existirá en la matriz de la pared del suelo, lo que permitirá que la onda se propague más rápidamente. Según este razonamiento, se puede inferir que el *Tuqiang* de mejor calidad será aquel que tenga una mejor relación de calidad, mientras que el *Tuqiang* de menor calidad será el que tenga una relación de calidad inferior, acercándose a la calidad de paso.

Es fundamental asegurarse de que el sensor esté bien acoplado a la superficie. Para ello, el sensor debe impregnar con un adhesivo de contacto. En el caso de ensayar carcassas o zonas con superficies rugosas, estas deben ser eliminadas para evitar resultados falsos. Si la superficie es rugosa, debe pulirse adecuadamente. Siempre que sea posible, se debe optar por la transmisión directa; si no es viable, se recomienda medir todos los componentes utilizando la misma transmisión para permitir una comparación coherente de los datos. No se deben comparar mediciones realizadas con transmisiones diferentes. Finalmente, se deben realizar al menos tres mediciones para garantizar la fiabilidad de los resultados.

Modo de empleo:

Asegurarse de que el equipo de ultrasonidos esté en condiciones adecuadas de funcionamiento, realizar la calibración y preparación necesarias, y aplicar el acoplante a la sonda.

Limpiar la superficie del *Tuqiang* antes de la medición para eliminar cualquier impureza o contaminación que pueda afectar la precisión de los resultados.

Colocar el transductor ultrasónico en el *Tuqiang* para asegurar un buen contacto físico entre el dispositivo y la superficie de prueba.

Encender el dispositivo ultrasónico para la medición y registrar el tiempo de medición, la propagación de la onda acústica y otros datos relevantes.

Analizar la velocidad de propagación de las ondas acústicas, la densidad y otras propiedades físicas del *Tuqiang* a partir de los resultados obtenidos durante la medición

Ventajas:

-La tecnología ultrasónica es un método de inspección no destructivo que no causa daños a la estructura del *Tuqiang*.

-Puede medir en profundidad y obtener información sobre la estructura interna del material.

- Ofrece una alta precisión en las mediciones y es eficaz para detectar la calidad y los defectos del *Tuqiang*.

- Facilita la monitorización en tiempo real de las propiedades físicas del *Tuqiang*, ayudando a identificar problemas potenciales de manera temprana.

Desventajas:

-Los resultados de la medición pueden verse afectados por la calidad y calibración del equipo utilizado, por lo que es fundamental seleccionar el equipo de manera cuidadosa.

-La operación del equipo puede ser relativamente compleja y requiere personal especializado con formación profesional para garantizar un manejo adecuado.

-La presencia de grandes cantidades de impurezas en el *Tuqiang* puede interferir con la propagación de las ondas ultrasónicas, lo que afecta la precisión de las mediciones.

12.1.5 Fisurómetro



Fuente: Elaboración propia

Modo de empleo:

garantizar la precisión de la calibración. Marcar puntos de referencia en la superficie de la estructura a evaluar, lo que permitirá realizar mediciones y comparaciones posteriores. Colocar el fisurómetro, asegurándose de situarlo exactamente sobre la superficie de la estructura para garantizar mediciones precisas. Verificar que el medidor de grietas esté perpendicular a la dirección de la grieta, de modo que se obtengan datos exactos sobre la

anchura y la variación de la grieta. Analizar los resultados de las mediciones y comparar los datos en diferentes momentos para evaluar los cambios en la estructura.

Ventajas:

-Permite la monitorización en tiempo real de la estructura, proporcionando información inmediata sobre la anchura de las grietas y los cambios estructurales, lo que facilita la detección temprana de problemas.

-Realiza pruebas no destructivas. Con la monitorización remota, no es necesario realizar pruebas destructivas en la estructura, lo que reduce su impacto.

-Permite medir con precisión la anchura de las grietas, lo que ayuda a evaluar con exactitud la salud de la estructura.

-Algunos dispositivos de medición de grietas cuentan con funciones automatizadas que permiten realizar mediciones e informes periódicos.

Desventajas:

-El uso y la interpretación de los datos de medición de grietas pueden requerir conocimientos especializados en ingeniería estructural.

-Algunos medidores de grietas pueden verse afectados por condiciones ambientales, como cambios de temperatura y humedad.

-No son adecuados para todo tipo de estructuras, especialmente aquellas de mayor complejidad, en las que su aplicación puede ser limitada.

12.1.6 Analisis de termografia



Fuente: Elaboración propia

Detectar problemas de aislamiento en estructuras de edificios, incluidos muros, tejados y suelos. Identificar problemas de fugas de agua, localizando posibles fuentes de filtración o infiltración de agua. Evaluar la pérdida de calor en el edificio e identificar puentes térmicos y áreas con aislamiento insuficiente. Detectar fallos en el sistema eléctrico, como la sobrecarga de cables y contactos deficientes.

Modo de empleo:

Fijar la emisividad de la caja en 1. Colocar un trozo de cinta adhesiva negra (independientemente de su color, ya que lo importante es que sea un objeto con emisividad de 1 o muy cercana a 1) sobre el cristal. En esta cinta se podrá leer la temperatura real del cuerpo.

Colocar un trozo de papel de plata arrugado junto al cristal para obtener la temperatura reflejada (reflexión difusa; se observa la temperatura reflejada del entorno). Introducir el valor de la temperatura reflejada en el dispositivo. Alinear la superficie del vidrio y ajustar el valor

de emisividad de la cavidad hasta obtener la misma temperatura que la medida previamente en la cinta.

Para asegurar la precisión de este último paso, se puede medir la temperatura propia directamente con la cámara en la frente (apuntando con la cámara directamente hacia la frente o hacia las personas cercanas). A continuación, frente al cristal, medir la temperatura reflejada en el cristal con la cámara, que debe estar apuntando hacia la frente. Ajustar el valor de emisividad de la cámara hasta obtener la misma temperatura medida previamente en la frente.

El tono del vidrio u objeto no está directamente relacionado con la emisividad. En última instancia, la emisividad depende de la radiación infrarroja emitida por el objeto, que a su vez está vinculada a la temperatura del mismo. Cuanto más oscuro sea el color del vidrio, mayor será la temperatura que alcanza al exponerse al sol o a otra fuente de luz.

Sin embargo, la emisividad no depende únicamente de la luz solar directa. En última instancia, si el tinte refleja la luz infrarroja, también influye en la emisividad. Evaluar la eficiencia energética de los edificios mediante el análisis de imágenes térmicas y formular recomendaciones de mejora.

Ventajas:

- La termografía es un método de inspección no destructivo que no requiere dañar la estructura del edificio.

- Produce resultados rápidos y permite evaluar todo el edificio en un período de tiempo relativamente corto.

- Facilita la supervisión en tiempo real, lo que ayuda a identificar posibles problemas y tomar medidas inmediatas.

- No está limitada por las condiciones meteorológicas o lumínicas, y puede utilizarse tanto de día como de noche.

-Permite cubrir grandes áreas y determinar la distribución de los problemas potenciales.

Desventajas:

-Las cámaras de infrarrojos son relativamente caras de adquirir y mantener, lo que puede limitar su uso generalizado.

-Se requiere formación especializada para manejar una cámara de infrarrojos y garantizar un uso adecuado y una interpretación correcta de los resultados.

-En algunos casos, la precisión de la cámara infrarroja puede verse afectada por los materiales y las condiciones ambientales.

-Las cámaras infrarrojas se utilizan principalmente para inspeccionar superficies, por lo que puede no ser posible identificar completamente problemas más profundos.

-Dado que no pueden penetrar objetos dentro de un edificio, sólo pueden detectar problemas superficiales y están limitadas para identificar problemas ocultos dentro de las paredes.

-Las cámaras infrarrojas suelen producir estimaciones de temperatura mediante comparación y cálculo, lo que no garantiza que la temperatura medida sea la real del objeto.

12.1.7 Sondeo con taladro: Resistografo



Fuente: Elaboración propia

Existe una relación directa entre la conductividad eléctrica (conductividad) de la madera y su contenido de humedad. A medida que aumenta el contenido de humedad, la conductividad de la madera también aumenta, debido a que la humedad actúa como un buen conductor eléctrico dentro de la madera.

Un resistivímetro de madera generalmente está equipado con dos electrodos que atraviesan la superficie de la madera, entrando en contacto con ella. Entre estos dos electrodos se genera una resistencia cuya magnitud está influenciada por la conductividad de la madera.

El resistivímetro de madera aplica una pequeña corriente eléctrica a través de los dos electrodos. Esta corriente fluye a través de la madera, y la presencia de humedad altera la conducción de la corriente. A medida que la corriente atraviesa la madera, la resistencia provoca una caída de tensión. Al medir esta caída de tensión entre los electrodos, el medidor de resistencia de la madera es capaz de determinar la resistencia de la madera.

Mediante un proceso de calibración y una relación conocida, el medidor de resistencia de la madera convierte el valor de resistencia medido en el contenido de humedad de la madera. Este proceso generalmente requiere que el dispositivo se calibre antes de realizar la medición, para garantizar la precisión de los resultados.

El medidor de resistencia de la madera generalmente está equipado con una pantalla digital que muestra el valor de resistencia medido o proporciona directamente la lectura del contenido de humedad.

Modo de empleo:

-Se debe asegurar que el equipo del medidor de resistencia de la madera esté en condiciones normales de funcionamiento, con la batería suficientemente cargada y el cable de conexión estable.

-Inserte el electrodo en la madera, asegurándose de que la profundidad de inserción sea la adecuada y manteniendo el electrodo en estrecho contacto con la superficie de la madera.

-Ponga en marcha el medidor de resistencia de la madera para medir y registrar el valor de resistencia.

-Analice los resultados para evaluar la conductividad y la calidad de la madera.

Ventajas:

-Proporciona resultados de medición relativamente rápidos, lo que lo hace adecuado para la inspección de la calidad de grandes volúmenes de madera.

-Es no destructivo, ya que perfora orificios de 2 a 3 mm de diámetro en la dirección de la superficie, lo que permite realizar mediciones sin dañar la estructura de la madera.

-Permite controlar en tiempo real la conductividad eléctrica de la madera y detectar oportunamente posibles problemas de calidad.

-Es relativamente fácil de manejar y no requiere una formación compleja para realizar las pruebas básicas.

-Proporciona valores cuantitativos de resistencia, lo que facilita la comparación y el análisis de diferentes muestras de madera. Una de las funcionalidades que ofrece el dispositivo es la inspección de zonas ocultas en la parte superior de las paredes internas, lo que permite detectar el deterioro interno.

-La medición de la resistencia es puntual y tiene como objetivo estimar la densidad a través del consumo de energía.

Desventajas:

-Los resultados de la medición pueden verse afectados por las condiciones ambientales, como los cambios en la humedad y la temperatura.

-Las mediciones pueden no ser suficientemente precisas en el caso de madera con alta heterogeneidad.

-La profundidad de medición puede estar limitada y no es adecuada para evaluar propiedades en el interior de la madera.

12.1.8 Eslerometro



Fuente: Elaboración propia

El principio básico del Eslerometro se fundamenta en el principio de elasticidad aplicado a una prueba de impacto. Este dispositivo se basa en la respuesta elástica de un material cuando se somete a una fuerza externa. En el caso de la madera, cuando se aplica una fuerza, la superficie se deforma elásticamente y luego vuelve a su forma original, lo que permite evaluar su dureza.

Uno de los componentes principales del Eslerometro es una bola metálica con una geometría estandarizada, comúnmente de acero al tungsteno. Esta bola, conocida como "dispositivo de

impacto", se presiona contra la superficie de la madera y es impulsada por un muelle para impactar con una cantidad predeterminada de energía. La superficie que recibe el impacto suele ser una parte de la estructura de madera, como un muro, una columna o una viga.

Cuando el dispositivo de golpeo impacta la superficie, rebota, y el Eslerometro mide la velocidad de rebote o el valor de rebote mediante un mecanismo de resorte incorporado. Un valor de rebote más alto indica una madera más dura, mientras que un valor de rebote bajo indica una madera más blanda.

Existen tablas de consulta o curvas de conversión normalizadas que permiten convertir el valor de rebote en la dureza superficial de la madera. Este método es útil para evaluar la resistencia de la superficie sin necesidad de causar daños al material.

Este procedimiento, al ser no destructivo, ofrece una forma eficiente y rápida de medir las propiedades de la madera en condiciones controladas, proporcionando datos importantes para su caracterización estructural.

Modo de empleo:

Se debe asegurar que la unidad Eslerometro funciona correctamente y realizar la calibración necesaria. Antes de proceder con la medición, es importante limpiar la superficie del *Tuqiang* para garantizar que no haya polvo ni otras impurezas que puedan interferir en la medición.

Se debe colocar el Eslerometro sobre la superficie a medir, asegurando un contacto perpendicular con la misma.

Se debe golpear la superficie del *Tuqiang* con el dispositivo de percusión del instrumento para generar un sonido de rebote y datos de rebote.

Los datos de rebote, normalmente expresados como valores de Schmidt Hammer, se registran para su posterior análisis. Generalmente, se utilizan para determinar la resistencia a la compresión del *Tuqiang*, como en columnas, muros y pavimentos. El dispositivo funciona mediante un peso de resorte, cuyo peso tensado se lanza contra el *Tuqiang* y se mide la

fuerza de rebote. Aunque no es un método completamente fiable, es muy utilizado. Proporciona una aproximación y se emplea principalmente como método de comprobación, sin ser tan común como el ensayo de compresión.

Ventajas:

-Proporciona resultados de medición relativamente rápidos, lo que lo hace adecuado para la inspección de la calidad de grandes volúmenes de madera.

-Es no destructivo, ya que perfora orificios de 2 a 3 mm de diámetro en la dirección de la superficie, lo que permite realizar mediciones sin dañar la estructura de la madera.

-Permite controlar en tiempo real la conductividad eléctrica de la madera y detectar posibles problemas de calidad de manera oportuna.

-Es relativamente fácil de manejar y no requiere una formación compleja para realizar las pruebas básicas.

-Proporciona valores cuantitativos de resistencia, lo que facilita la comparación y el análisis de diferentes muestras de madera. Una de las posibilidades que ofrece el dispositivo es inspeccionar zonas ocultas en la cabeza de las paredes internas, lo que permite detectar el deterioro interno.

Desventajas:

-Los resultados de la medición pueden verse afectados por las condiciones ambientales, como los cambios de humedad y temperatura.

-Las mediciones pueden no ser lo suficientemente precisas en el caso de madera con alta heterogeneidad.

-La profundidad de medición puede estar limitada y no es adecuada para evaluar propiedades en el interior de la madera.

12.1.9 Analisis de xilohigrometro de resistencia electrica



Fuente: Elaboración propia

Relación entre conductividad y contenido de humedad:

Existe una relación directa entre la conductividad eléctrica de la madera y su contenido de humedad. A medida que varía el contenido de humedad en la madera, la conductividad también cambia en consecuencia. En general, cuanto mayor es el contenido de humedad, mayor será la conductividad eléctrica de la madera.

Al comenzar la medición, el electrodo del instrumento entra en contacto con la superficie de la madera. El electrodo está diseñado para introducirse directamente en la madera o para medirse por contacto superficial.

Al aplicar una pequeña corriente eléctrica a través de la madera, el instrumento mide la resistencia eléctrica de la madera a la corriente. Dado que la resistencia de la madera está estrechamente relacionada con su contenido de humedad, el valor de resistencia medido proporcionará información sobre el contenido de humedad de la madera.

Modo de empleo:

Preparación de la superficie: Antes de realizar la medición, limpie bien la superficie de la madera para asegurarse de que no haya polvo ni impurezas que puedan interferir en la medición.

Instalación del electrodo: Perfore la madera con firmeza y asegúrese de que el electrodo esté correctamente instalado en la superficie. Verifique que el electrodo haga un buen contacto con la madera para obtener lecturas precisas.

Medición: Encienda el instrumento de resistividad y realice la medición. Registre el valor de resistividad y la información relacionada con el contenido de humedad.

Análisis: Con base en los resultados obtenidos, analice el contenido de humedad de la madera. Esto permitirá evaluar tanto la calidad de la madera como su idoneidad para su uso.

Ventajas:

-Monitoreo en tiempo real: La capacidad de proporcionar datos en tiempo real sobre el contenido de humedad de la madera permite identificar posibles problemas de manera oportuna.

-Método no destructivo: La medición de la resistividad es un procedimiento no destructivo que no daña la estructura de la madera.

-Precisión: Ofrece mediciones relativamente exactas del contenido de humedad, lo que resulta útil para evaluar la calidad de la madera.

-Amplia aplicabilidad: Este método es adecuado para una variedad de tipos de madera y se utiliza ampliamente en la industria maderera.

Desventajas:

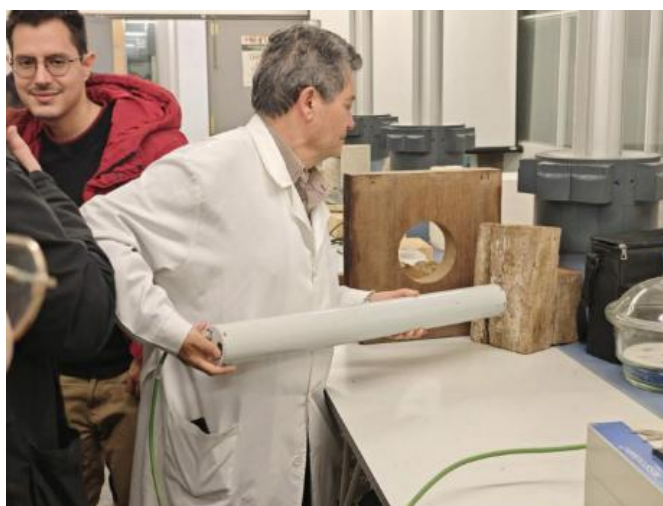
-Condiciones ambientales: Las mediciones pueden verse influenciadas por las condiciones ambientales, como los cambios de temperatura y humedad. Además, la temperatura de la

madera afecta los resultados. Para obtener mediciones precisas, se debe esperar a que la madera se enfríe a temperatura ambiente o usar un factor de corrección.

-Preparación de la superficie: La calidad del contacto del electrodo con la superficie de la madera puede verse afectada por el estado de la misma, por lo que requiere una preparación cuidadosa.

-Limitaciones en profundidad: Las mediciones de resistividad principalmente reflejan el contenido de humedad de la capa superficial de la madera, por lo que no son adecuadas para medir el contenido de humedad en el interior de la madera.

12.1.10 Penetrómetros



Fuente: Elaboración propia

La pieza clave del penetrómetro es una sonda afilada de metal o carburo de tungsteno, que generalmente tiene forma cónica o cilíndrica. Esta sonda suele denominarse "aguja" o "cono". Durante la prueba, la sonda del penetrómetro se introduce verticalmente en la superficie de la madera. El usuario puede ajustar la profundidad de inserción según sus necesidades. Al introducir la sonda en la madera, las fibras de la misma ejercen una resistencia que refleja la dureza del material.

El penetrómetro evalúa la dureza de la madera midiendo esta resistencia a la inserción. El dispositivo suele estar equipado con un indicador o pantalla que muestra el nivel de resistencia. El usuario puede registrar esta lectura para su posterior análisis o comparación. Para garantizar la precisión de la medición, el penetrómetro requiere una calibración periódica, que normalmente implica el uso de bloques de dureza normalizados u otros materiales de referencia para confirmar el rendimiento del dispositivo.

Modo de empleo:

- Medición rápida: Los penetrómetros proporcionan una medición relativamente rápida de la dureza o resistencia a la penetración.
- Versatilidad: Son adecuados para diferentes tipos de materiales, como suelos, rocas y otros materiales de construcción.
- Facilidad de uso: El dispositivo es relativamente sencillo de utilizar y no requiere formación compleja para realizar ensayos básicos.
- Datos numéricos: Proporciona datos cuantitativos de dureza o permeabilidad, facilitando la comparación y el análisis.

Ventajas:

- Medición rápida: los penetrómetros proporcionan una medición relativamente rápida de la dureza o la resistencia a la penetración.
- Es adecuado para diferentes tipos de materiales, como el suelo, la roca y otros materiales de construcción.
- Es relativamente sencillo de utilizar y no requiere una formación compleja para realizar ensayos básicos.
- Proporciona datos numéricos de dureza o permeabilidad para facilitar la comparación y el análisis.

Desventajas:

-Dependencia de la habilidad del operador: Los resultados dependen en gran medida de la habilidad y experiencia del operador.

-Variabilidad en los resultados: Los resultados pueden variar según la naturaleza del material, y se deben tener en cuenta las propiedades específicas de cada uno.

-Precaución en materiales no homogéneos: Los resultados pueden no ser precisos en materiales no homogéneos y deben interpretarse con cautela.

-Limitación en materiales de grano fino o pulverulentos: No es adecuado para medir la dureza de materiales con grano fino o pulverulentos, lo que limita su campo de aplicación.

12.2 Uso de instrumentos de prueba en *Tuqiang* de Hakka edificios

El objetivo de este estudio es investigar la integridad estructural de los edificios hakka sometidos a cargas extremas, incluidos los posibles modos de fallo y, en su caso, la verificación de las capacidades de autorreparación de grietas comunicadas. También se busca analizar los procesos de transferencia de calor en los *Tuqiang* para garantizar el confort térmico y la eficiencia energética, así como evaluar las posibles ventajas de los materiales en términos de energía incorporada (consumo) y rendimiento estructural para su aplicación en edificios modernos. Todos los estudios in situ se realizaron mediante ensayos no destructivos utilizando técnicas y equipos como cámaras de escaneado de imágenes térmicas por infrarrojos, martillos de rebote, equipos de ensayos ultrasónicos, sistemas de adquisición de datos de deformación y termopares.

Además, se llevó a cabo una evaluación de la durabilidad del hakka *Tulou*. Para comprender mejor la respuesta termomecánica y de envejecimiento de los hakka *Tulou* a las cargas térmicas y sísmicas, se realizaron evaluaciones que incluyeron pruebas a escala real de

cerchas y suelos, pruebas de laboratorio de muestras de campo y modelización de elementos finitos. [46]

Los hakka *Tulou* reflejan la innovación, evolución y progreso de la construcción con tierra desde el siglo VIII hasta el XX d.C. Estos *Tulou* cuentan con gruesos *Tuqiang* (de aproximadamente 2 metros de espesor) en el exterior, y estructuras de madera en el interior que forman los suelos y las habitaciones. Tienen entre tres y cinco pisos de altura y pueden adoptar una forma circular o cuadrada. Cada edificio alberga cientos de habitaciones y puede acoger hasta 800 personas.

12.2.1 Espectrometría de masas con acelerador

Las muestras provienen de tres hakka *Tulou* con diferentes historiales de construcción, etiquetados como Y120 (construido hace 120 años), Y240 (construido hace 240 años) y Y380 (construido hace 380 años). Estas muestras se obtuvieron de lugares de demolición distintos y representan diferentes épocas de construcción con *Hangtu*. [47]

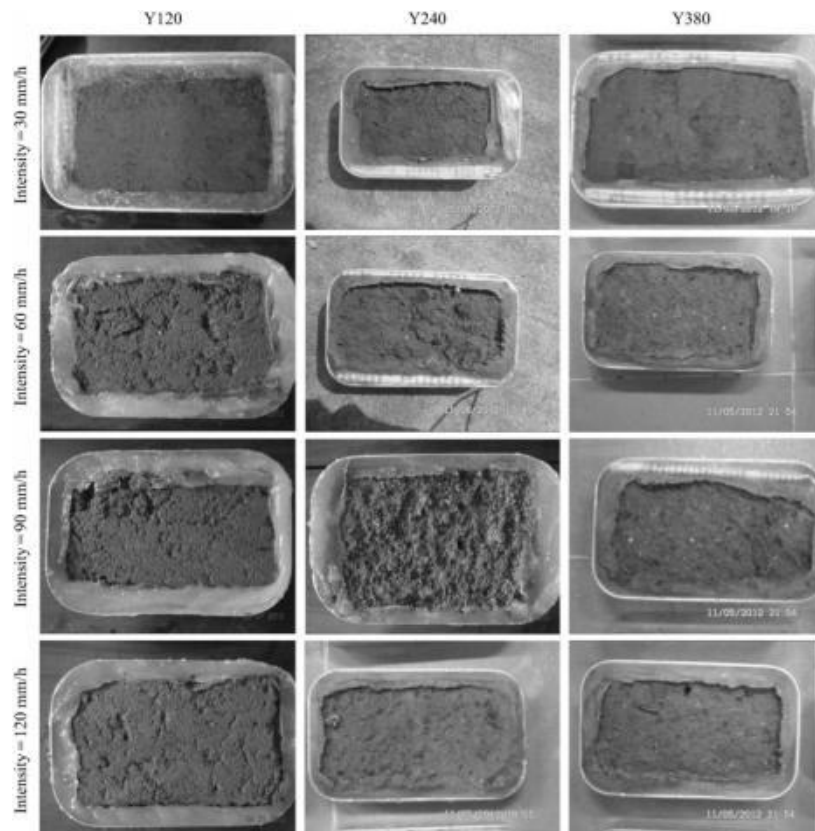


Foto 42 Degree of erosion on the surface of remoulded rammed earth specimen in rain simulation test./Grado de erosión en la superficie de una muestra de tierra apisonada remodelada en un ensayo de simulación de lluvia.

Fuente: Degradation of rammed earth under wind-driven rain: The case of Fujian Tulou, China.[47]

Para las pruebas se utilizaron varios criterios de espectrometría de masas con acelerador, entre ellos: clasificación del suelo, límites de Atterberg y medición de la densidad. La densidad en el campo se determinó mediante el método del cortador de testigos, obteniéndose un valor de peso para un volumen dado. El contenido de humedad se determinó mediante el método de secado a una temperatura controlada de 105-110 °C.

- Las muestras de *Hangtu* de distintos periodos históricos muestran diferentes distribuciones granulométricas y propiedades físicas:

Y120: 18,3% de arena, 30,4% de creta y 50,5% de arcilla.

Y240: 26,0% de arena, 47,2% de creta y 26,3% de arcilla.

Y380: 22,9% de arena, 41,9% de creta y 34,7% de arcilla.

Se concluye que, debido al mayor contenido en arcilla de la muestra Y120, es más probable que se hinche cuando se moje y se encoja cuando se seque. Todas las muestras contenían más del 50% de creta y arcilla, por lo que se clasificaron como suelos finos.

Con el fin de verificar la antigüedad arquitectónica de los edificios *Tulou* que figuran en los registros oficiales locales, se realizaron pruebas de datación por radiocarbono de una muestra de madera del edificio Chengqi. El *Tulou* de Chengqi fue construido entre 1662 y 1709. Las mediciones de la datación por radiocarbono mostraron una edad de 111 +/- 47 a.C. Fue necesario calibrar la datación por radiocarbono para convertirla en un intervalo de edad de calendario. Los resultados indican que existe una probabilidad del 95,4% de que las muestras se sitúen dentro de los intervalos de edades calendáricas 1675-1778 y 1799-1941. Esta observación es coherente con la fecha de finalización (año 1709) del edificio Chengqi. En este trabajo, sólo se examinó y verificó la edad de las muestras de madera del edificio Chengqi, mientras que la edad del resto de los edificios *Tulou* se obtuvo de los archivos del gobierno local.

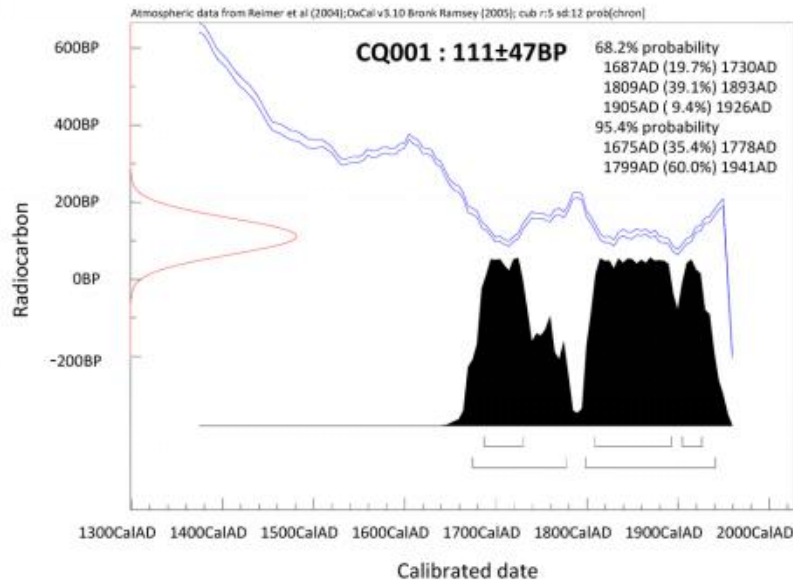


Foto 43 Datación por carbono de Chengqi *Tulou*.

Fuente: Degradation of rammed earth under wind-driven rain: The case of Fujian Tulou, China[47]

12.2.2 Pruebas combinadas de ultrasonidos y esclerómetro para comprobar la estabilidad de las paredes del suelo

Los métodos de ensayo específicos se dividen en tres categorías: métodos no destructivos, métodos de ensayo para pequeños daños y métodos de ensayo exhaustivos. Los métodos no destructivos incluyen principalmente la prueba de rebote y la medición de la velocidad del pulso ultrasónico. Los métodos de ensayo para pequeños daños se emplean para inferir la resistencia a la compresión de los materiales mediante el muestreo de áreas locales, sin afectar la capacidad de carga ni la función del edificio. Entre estos métodos se incluyen principalmente la perforación de núcleos y las pruebas de tracción. Los métodos exhaustivos combinan dos o más métodos no destructivos para aprovechar las ventajas complementarias de cada uno. Los principales de estos métodos son el ensayo ultrasónico y el ensayo de juntas con esclerómetro.[48]

Es importante señalar que los valores preestablecidos para los componentes del esclerómetro están diseñados principalmente para la superficie de los *Tuqiang*, pero pueden ofrecer una evaluación cuantitativa de la resistencia de los *Tuqiang* en los *Tulou*. Por esta razón, se recomienda utilizar dos instrumentos diferentes para las pruebas.

Se evaluaron y compararon dos técnicas no destructivas: acústica y ultrasónica. Los resultados experimentales mostraron que la prueba acústica es un método eficaz para evaluar las estructuras de *Hangtu*. Por otro lado, la velocidad del pulso ultrasónico permitió evaluar las propiedades físicas de los bloques de tierra, tanto no consolidados como consolidados. Se investigó la relación entre la velocidad del pulso ultrasónico y varios índices de propiedades físicas de los bloques de prueba, como la densidad, la absorción de agua y la contracción por secado.

Debido a la compleja composición de los materiales de *Hangtu*, los valores de la velocidad del sonido varían según los diferentes materiales. La estructura interna de los materiales de *Hangtu* afecta la propagación de las ondas ultrasónicas, ya que estas interfieren con las interfaces presentes en el material, lo que da lugar a modos de propagación como la reflexión y la refracción. Por lo tanto, resulta difícil establecer con precisión la relación entre la velocidad del pulso ultrasónico y la resistencia a la compresión no confinada.[48] [49]

El ensayo por ultrasonidos es una técnica de inspección no destructiva que evalúa la resistencia de un material y/o detecta la presencia de defectos en él. En este tipo de prueba, un transductor ultrasónico genera ondas que viajan a través del material (en este caso, el *Tuqiang* del estudio) y son luego detectadas por un receptor. La manera en que se propagan las ondas proporciona información sobre la integridad de la estructura sometida a prueba. Específicamente, la velocidad de la onda depende de las propiedades del material, como su rigidez, densidad y coeficiente de Poisson, así como de la presencia de defectos. De igual manera, se espera que la amplitud de la onda sea mayor cuando esta viaja a través de un material más “robusto” o uno con menos defectos.

La combinación de mediciones de velocidad y amplitud puede aumentar la sensibilidad de las técnicas ultrasónicas para detectar defectos. En general, una disminución en la amplitud de la onda puede indicar la presencia de un defecto. Para obtener una interpretación más precisa, es útil comparar la tendencia de los datos de velocidad de onda con la de los datos de amplitud. Si se observa alguna incoherencia entre ambos, es probable que exista un defecto.

Es importante tener en cuenta que las pruebas realizadas en una pared mojada o afectada por la lluvia no son eficaces. Para obtener resultados fiables, cada punto de datos debe ser el promedio de entre 25 y 30 mediciones. Ambos gráficos deben mostrar una tendencia coherente. Como se puede observar, no parece haber una correlación directa entre la edad de la estructura de tierra y la velocidad/amplitud del ultrasonido (resistencia del *Tuqiang*). Además de la edad, existen muchos otros parámetros del sistema de muros que varían de un edificio a otro, como las diferentes composiciones del suelo, la presencia o ausencia de nervaduras en los muros y las diversas calidades de construcción.[50]

El medidor de rebote funciona de la siguiente manera: un martillo de acero golpea un émbolo de acero en contacto con la superficie de la madera con una cantidad predeterminada de energía, y luego se mide el rebote del martillo en función de la distancia que recorre al alejarse de la pared de *Hangtu*, en lugar de utilizar un medidor de rebote tradicional para madera. Cabe señalar que el medidor de rebote no está específicamente diseñado para *Tuqiang*, pero puede ofrecer un método para evaluar cuantitativamente la resistencia de los *Tuqiang* en *Tulou*. Durante el estudio, se emplearon dos modelos de medidor de rebote: uno para aplicaciones en ladrillo rojo y otro para aplicaciones con mortero.

En el estudio, también se utilizó una cámara termográfica de infrarrojos, diseñada para realizar varias funciones una vez comprobada su utilidad. Una de estas funciones era identificar la presencia de nervaduras en muros que no las tenían a simple vista. Esto se debe a que los materiales naturales utilizados para construir el *Tuqiang*, como arcilla, madera, bambú y piedra, tienden a estar en equilibrio térmico en condiciones normales. La diferencia de temperatura superficial entre un muro con nervaduras y uno sin ellas es casi nula,

especialmente si las nervaduras están empotradas a una profundidad considerable y el grosor del muro es de 1,5 a 2 metros. Otra expectativa de la cámara termográfica era detectar la calidad de la unión entre el *Hangtu* y las nervaduras. Sin embargo, debido a las razones mencionadas anteriormente, la sensibilidad de la cámara termográfica no era suficiente para identificar una buena unión entre la tierra y las nervaduras del muro. El gradiente de temperatura entre estas dos condiciones no era lo suficientemente grande. Durante el estudio, se intentó rociar agua fría sobre los *Tuqiang* con el fin de mostrar la diferencia en las tasas de transferencia de calor, pero este enfoque no fue efectivo.



Foto 44 Detección de costillas poco profundas en *Tuqiang*

Fuente: Testo⁵⁴

Las cámaras infrarrojas solo pueden identificar defectos a una profundidad limitada en el material. Por ejemplo, la termografía infrarroja detecta las nervaduras del muro, como se muestra en la figura, donde una sombra ligeramente más oscura representa una nervadura del muro cuando éste tiene aproximadamente 30 cm de grosor y hay una grieta cerca. Debido a las grietas, los efectos del viento y la poca profundidad a la que están empotradas

⁵⁴ <https://www.testo.com/zh-CN/downloads/thermal-imager-practical-guide-building-registration>

las nervaduras en el muro, la diferencia de temperatura entre la zona empotrada de la nervadura y sus alrededores es suficiente para que la cámara detecte un cambio ($\sim 0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$).9.2.3 monitoreo del microclima

La provincia de Fujian se encuentra al final de la zona templada, más cerca del ecuador. El clima es suave en invierno y caluroso en verano. El objetivo de este estudio es comprender cómo viven cómodamente las familias hakka en los hakka *Tulou* durante el verano y el invierno.

En este análisis térmico, la transferencia de calor se produce por conducción, lo que significa que la energía térmica se transfiere de una parte a otra del material hasta que se alcanza el equilibrio térmico. Es importante tener en cuenta dos propiedades termofísicas clave del material que controlan este proceso de conducción y, por lo tanto, el confort térmico de la estructura: la resistividad térmica y la masa térmica del material.

La resistividad térmica de un material es su capacidad para resistir el flujo de calor, lo que significa que cuanto mayor es la resistividad térmica de un material, más difícil es que se vean alteradas sus temperaturas debido a las variaciones del ambiente. Por otro lado, la masa térmica es la capacidad de un material para absorber y liberar calor con el fin de alcanzar el equilibrio térmico con el entorno. Es bien sabido que los materiales con alta masa térmica tienen una resistividad térmica relativamente baja y, por lo tanto, no son buenos aislantes. Los materiales con gran masa térmica, como la madera, los ladrillos y, en este caso, el *Hangtu*, absorben gran cantidad de energía térmica para cambiar de temperatura. [51][52][53][54]

Se registraron lecturas de temperatura y humedad en el edificio Chengqi el 1 de julio de 2009. Se mostraron y analizaron los datos obtenidos entre el 29 de junio y el 6 de julio de 2009 utilizando un registrador de datos. Los registros de temperatura fueron tomados en diferentes ubicaciones del *Tulou* de Chengqi, incluyendo el exterior del *Tulou*, la superficie de los *Tuqiang* internos y externos, y el interior. La temperatura máxima registrada en la superficie exterior de los *Tuqiang* fue de 112°F , y se analizó la distribución de la temperatura tanto

dentro como fuera del *Tulou*. Debido a que se trató de la diferencia de temperatura más alta, este conjunto de datos a las 15:20 se utilizó para calcular la resistividad térmica del lugar, lo que resultó en un valor de 1,0986 mK/W. [55]

12.3 Medios de prueba utilizados en las estructuras de madera de la arquitectura hakka

Al considerar la integridad estructural de los hakka *Tulou*, es fundamental también prestar atención a la estructura interna de madera. Esta estructura de madera soporta las cargas internas del *Tulou*, así como las cargas externas, como las de viento, y distribuye estas cargas a las paredes de *Hangtu* y las columnas internas de madera.

El sistema de forjados del *Tulou* se compone de numerosas columnas, vigas y losas. Cada uno de los componentes que soportan carga está interconectado con los demás mediante conexiones de pasador. Todas las vigas horizontales están dispuestas en círculo alrededor del patio interior. El objetivo de estas pruebas de carga era comprender mejor cómo responden los miembros del suelo a las cargas externas y cómo se distribuyen estas cargas entre los miembros vecinos.

Los nudos de madera de *Hangtu* sin extremos abocinados se han utilizado en la construcción con *Hangtu* durante siglos. Debido a sus características de empotramiento, estos nudos son flexibles y permiten que las vigas del suelo y del tejado se deslicen sin dañar el *Hangtu*, actuando de esta manera como un disipador de energía durante los terremotos. Bajo carga cíclica, la rigidez del nodo disminuye de forma no lineal con el aumento del desplazamiento de tensión hasta que se produce el deslizamiento. La gran fuerza de compresión vertical en la parte superior, la deformabilidad de la estructura de madera y la plasticidad del *Hangtu* son los principales factores que contribuyen a la disipación de energía del nodo. Se ha desarrollado un modelo de fricción lineal y de histéresis geotécnica no lineal, que combina teorías de fricción y geomecánicas, para representar el comportamiento de las juntas.

En los edificios históricos de *Hangtu*, las juntas deslizantes de las vigas de madera que atraviesan los muros se utilizaban comúnmente como encofrado temporal. Además del impacto por empuje de las vigas de madera, los *Tuqiang* situados debajo de las vigas pueden sufrir daños por cizallamiento. Las simulaciones de tierra, utilizando el criterio de Moore-Coulomb, han demostrado que la resistencia al corte de el *Hangtu* está estrechamente relacionada con la resistencia cohesiva del suelo, especialmente cuando el ángulo de fricción del suelo no es demasiado pequeño. [55] Cuando una interfaz de deslizamiento está sometida a una acción sísmica, la respuesta entre los dos materiales se vuelve muy compleja, ya que la pérdida de adherencia en la interfaz es un proceso irreversible. Aunque con el tiempo, y bajo ciertas condiciones, pueden formarse nuevas superficies adhesivas, la carga vertical puede comprimir los dos materiales entre sí, favoreciendo esta posible reconstitución de la adhesión.

Debido a la acción repetida del viento y a la posible excitación sísmica, los *Tulou* están sometidos a fuerzas laterales periódicas a lo largo de su vida útil. Estas fuerzas se transmiten desde los *Tuqiang* a las vigas de madera a través de los nodos de madera de *Hangtu*. En cada nodo, las vigas de madera y el *Hangtu* circundante pueden deslizarse unas contra otras a lo largo de la interfaz. La disipación de energía ocurre en el *Hangtu*, las vigas de madera y las interfaces asociadas. Las interacciones en la interfaz son mucho más complejas que las de los materiales de madera o *Hangtu* considerados como elementos estructurales independientes, debido a la naturaleza altamente anisotrópica del material de *Hangtu*. El comportamiento de *Hangtu* puede aproximarse al de un material elástico lineal cuando la tensión o deformación del suelo se mantiene por debajo de un nivel específico. Además, el módulo de corte lineal de *Hangtu* está estrechamente relacionado con el contenido de agua del suelo. Sin embargo, a medida que aumentan la tensión o la deformación, *Hangtu* tiende a comportarse como un material discontinuo, lo que puede caracterizarse por el ángulo de fricción. Esto significa que la respuesta al deslizamiento de una junta de madera con *Hangtu* presenta dos comportamientos distintos, dependiendo de la integridad interfacial: fricción entre dos sólidos elásticos o fricción entre una madera elástica y un material tipo suelo. [56]

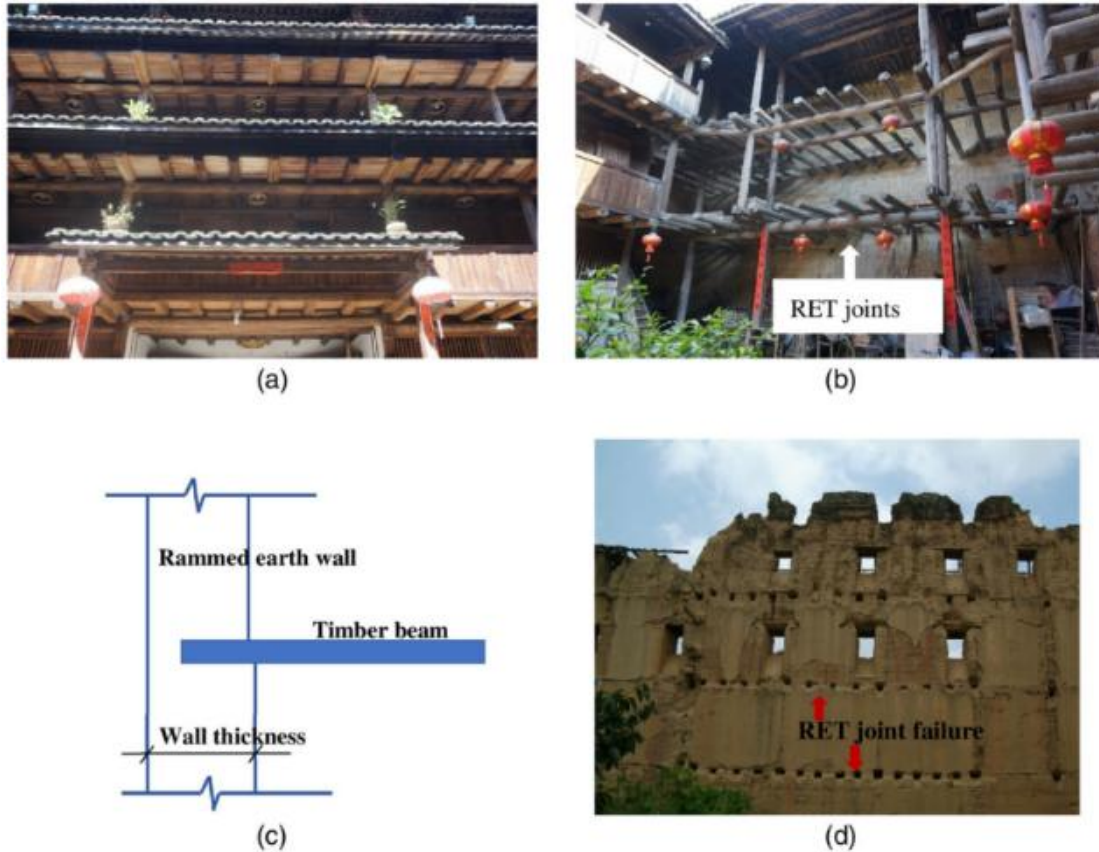


Foto 45 Uniones típicas de madera y *Hangtu* en un hakka *Tulou* : (a) Estructura interna de madera (con suelo de madera) (foto cortesía de Yi Luo); (b) Estructura interna de madera con unión RET de madera y *Hangtu* (foto cortesía de Yi Luo); (c) Configuración de la unión de madera y *Hangtu*; (d) fallo de la unión de madera y *Hangtu* (imagen cortesía de Mubo Feng).

Configuración de las juntas de *Hangtu*-madera; (d) Fallo de las juntas de *Hangtu*-madera (imagen cortesía de Mubo Feng).

Fuente: Structural Responses and Finite Element Modeling of Hakka Tulou Rammed Earth Structures[56]

12.3.1 Galga extensiométrica

La prueba de carga del suelo se llevó a cabo entre el tercer y cuarto piso del edificio Chengshu *Tulou*. El procedimiento de la prueba fue el siguiente:

-Determinar la unidad estructural representativa para la prueba.

-Instalar varias bandas extensométricas en los lugares adecuados. Conectar las bandas extensométricas a un sistema multicanal para la adquisición de datos de deformación.

-Aplicar gradualmente la carga y tomar lecturas de cada canal en cada carga. Descargar gradualmente la carga y tomar lecturas. Repetir las pruebas de carga y descarga tres o cuatro veces.

Se midió la geometría de todos los componentes de la estructura. Las pesas utilizadas fueron bolsas metálicas para sándwiches prestadas de una obra de restauración cercana. Cada bolsa pesaba 12,5 kg y se utilizó un total de 20 bolsas. Las pruebas de carga de este tipo de estructuras constituyen también un ensayo no destructivo, lo que permite evaluar la respuesta material y estructural de la estructura bajo cargas externas sin causar daños a la propia construcción.

Para obtener una comprensión más precisa de la respuesta estructural, se realizó un análisis de elementos finitos. Los datos obtenidos de las galgas extensométricas durante la prueba de carga se compararon con los valores de deformación/tensión calculados en el modelo de elementos finitos. Los valores de deformación fueron registrados en función de la carga para cada componente que tenía galgas extensométricas instaladas. Cada valor de deformación para una carga específica representaba la media de tres mediciones provenientes de tres series independientes. [57]

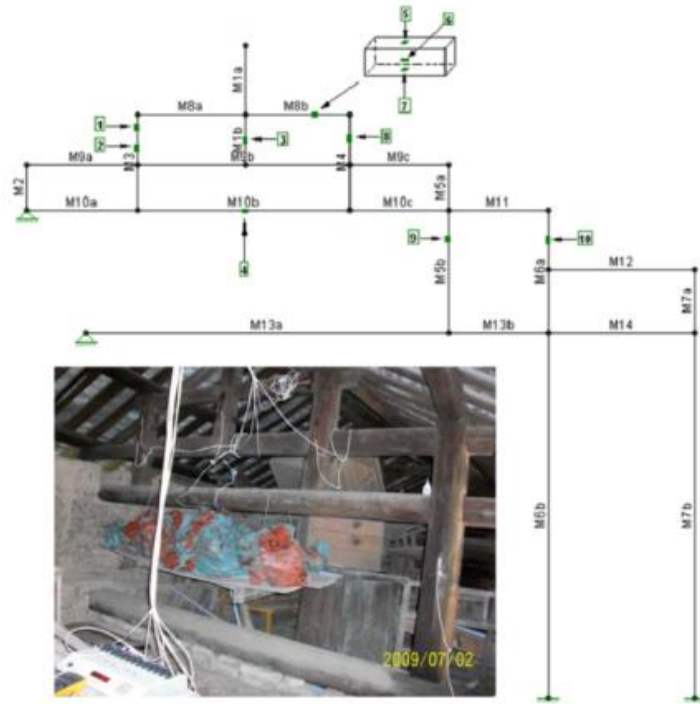


Foto 46 Pruebas de carga, definición de los elementos de la celosía y ubicación de las galgas extensométricas para las celosías de cubierta de *Tulou*.

Fuente: Bond-Slip Mechanism of Rammed Earth-Timber Joints in Chinese Hakka Tulou Buildings[58]

12.3.2 Pruebas de cerchas a tamaño real

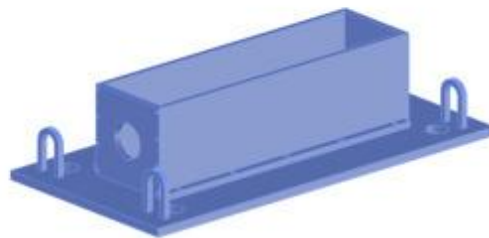
Las estructuras de cerchas son significativamente más complejas que los sistemas de suelo. El sistema de cerchas está compuesto por un conjunto de elementos horizontales y verticales interconectados mediante pasadores. En el edificio Chengqi también se realizaron pruebas de carga en las cerchas del tejado, utilizando una carga aplicada en dos puntos, con una carga máxima de 250 kg. La carga se aplicó a la viga horizontal de mayor luz, a la que se fijaron varios miembros verticales que soportaban las vigas del tejado. En las pruebas, se presentaron fotografías de la parte principal de la estructura de la cercha del tejado que se evaluaba, junto con una representación esquemática de toda la estructura, en la que se

asignó un número a cada miembro y se indicaron las ubicaciones de las galgas extensométricas en referencia a los miembros de montaje.

Para las pruebas de carga cíclica, se construyeron ocho especímenes nodales de madera de *Hangtu*. Cada espécimen consistía en un bloque de *Hangtu* con dimensiones de 1000 mm × 300 mm × 300 mm, en el cual se empotraba una viga de madera. Las vigas de madera se empotraron en el *Hangtu* durante el proceso de apisonado, con longitudes empotradas de 650 mm y 750 mm, respectivamente, lo que representaba aproximadamente dos tercios del grosor de la pared del hakka *Tulou* chino. [58]



(a) rammed earth



(b) formwork



(b) embedded joint



(a) overall failure mode of joint



(b) rammed earth after extruding the timber beam

Foto 47 modo de fallo

Fuente: Energy dissipation of rammed earth-timber joints under cyclic loading [59]

El *Hangtu* circundante mostró grandes grietas, pero no se observó ninguna deformación plástica significativa. El agrietamiento y la fractura del *Hangtu* indican que la interfaz entre la viga de madera y el *Hangtu* fue capaz de transferir fuerzas de manera suficiente hasta que aparecieron grandes grietas en el *Hangtu*. Bajo carga cíclica, los modos de daño en los nodos de unión entre *Hangtu* y madera fueron principalmente el desprendimiento de la interfaz y el agrietamiento del *Hangtu* cerca del canal de la viga. Las vigas de madera no sufrieron daños durante las pruebas, ya que la resistencia de la madera era considerablemente mayor que la del suelo. Esto se debió, en parte, a que la unión entre la estructura de madera y el *Tuqiang* permitía el deslizamiento, lo que posibilitaba que la energía cinética transferida a las juntas se disipara mediante el proceso de desprendimiento entre los dos materiales.

Bajo carga cíclica, la energía se disipó a través de la emisión térmica producida por la fricción, la cohesión en la interfaz y la deformación plástica del *Hangtu*. El mecanismo de disipación de energía se divide en dos componentes: la fricción y cohesión entre los dos sólidos elásticos en contacto, y la acción cortante de las vigas dentro del material tipo tierra. Ocho especímenes de juntas de madera de *Hangtu*, fabricados de acuerdo con las especificaciones de movimiento de tierras del hakka, fueron sometidos a pruebas de extracción para entender mejor el mecanismo de disipación de energía. La deformabilidad de las vigas de madera y la plasticidad del *Hangtu* resultaron ser las principales fuentes de disipación de energía.

13. Análisis de las patologías comunes del Hakka *Tulou*

El *Tuqiang* de los *Tulou* generalmente es más resistente debido a su construcción robusta, y se encuentra protegido por aleros de 2 a 3 metros que evitan la erosión directa por lluvia. Sin embargo, debido al clima monzónico subtropical en el que están ubicados, con precipitaciones concentradas y abundantes, y vientos de alta velocidad, el *Tulou* puede sufrir la erosión de la pared por la lluvia impulsada por el viento, especialmente durante eventos

climáticos extremos como vendavales o tifones. Aunque en un corto período de tiempo esta erosión no afecta significativamente las paredes, tras cientos de años de exposición al viento y la lluvia, el *Tuqiang* experimenta agrietamientos, desprendimientos de capas de la pared y un deterioro general debido a la intemperie.

Los *Tulou* emplean principalmente la técnica tradicional de construcción con *Hangtu*, que consiste en una mezcla de arcilla arenosa sin cocer y arena arcillosa, formando muros apisonados con paneles sándwich (en algunos casos, ladrillos de adobe) y estructuras de columnas y vigas. Dado que los *Tulou* están situados en una región con un clima monzónico subtropical, caracterizado por altas temperaturas, veranos lluviosos, inviernos suaves y húmedos, y grandes precipitaciones anuales, las paredes de *Hangtu* se ven afectadas por la erosión del viento, la lluvia, la alternancia de condiciones húmedas y secas, y la expansión y contracción provocadas por el congelamiento y descongelamiento. Estos factores, junto con la carga estructural, provocan que la superficie del *Tuqiang* desarrolle grietas de diferentes tamaños y profundidades.

Las grietas en el *Tuqiang* continúan desarrollándose y extendiéndose gradualmente, lo que reduce la resistencia estructural del muro y aumenta el riesgo de grietas a gran escala o incluso el colapso de la pared. El viento y la lluvia afectan negativamente al rendimiento del *Tuqiang*. A medida que el *Hangtu* se seca, las grietas comienzan a aparecer debido a la contracción de la arcilla, el principal componente del material. La acción de las lluvias repetidas provoca una expansión y contracción periódica del *Hangtu*, lo que deteriora su microestructura con el tiempo. Una vez que la unión entre las partículas de *Hangtu* se pierde, las grietas se expanden y pueden causar daños catastróficos a largo plazo.

La construcción de los *Tulou* más antiguos data del siglo XV, y aunque la tradición de construir con *Hangtu* continuó hasta el siglo XX, gradualmente fue sustituida por materiales modernos como ladrillo, hormigón y acero. Los *Tulou* suelen tener planta circular o cuadrada, con puertas y ventanas orientadas casi siempre hacia el patio interior. Además, presentan una sola entrada y ventana que conecta el interior con el exterior. Este diseño hace que, desde el exterior, solo se pueda observar el imponente *Tuqiang*, lo que dificulta las

invasiones y ofrece una defensa sólida. El tejado, cubierto de tejas, y los amplios aleros, actúan como remate del *Tuqiang*, cumpliendo dos funciones principales: en primer lugar, reducir la exposición directa a la luz solar, y en segundo lugar, proteger el muro de los impactos del agua de lluvia en la mayoría de los casos.



Foto 48 Principales tipos de clima en distintas regiones de China

Fuente: Red meteorológica de China⁵⁵

13.1 Agrietamiento y contracción de los *Tuqiang*

El agrietamiento de la pared de *Tuqiang* durante el proceso de modelado es común, y está relacionado con la contracción natural de la pared durante el secado. Estas grietas de secado se encuentran principalmente en la superficie de los *Tuqiang*, pero son generalmente poco profundas, estrechas en su anchura y cortas en longitud, lo que no afecta directamente la capacidad de carga de los *Tuqiang* en los *Tulou*.

Sin embargo, las grietas derivadas de la propia carga de la pared, que suelen ser más profundas y generalmente verticales, se producen principalmente en las uniones entre las vigas de madera y la pared, o en las cuatro esquinas de las aberturas para puertas y ventanas. Estas grietas pueden afectar gravemente la capacidad de carga de los *Tuqiang*, y en casos extremos, el agrietamiento puede incluso provocar el colapso de los *Tuqiang*.

⁵⁵ <https://gx.weather.com.cn/zt/qxr/03/1824253.shtml>

El agrietamiento debido a la erosión a largo plazo por el viento y la lluvia, junto con las grietas frecuentes causadas por estos fenómenos, puede resultar en el colapso de una pared. A medida que la erosión se acumula a lo largo del tiempo, especialmente con la alternancia continua entre condiciones húmedas y secas, las partes media e inferior del *Tuqiang* (generalmente el 1/3 inferior del muro) se vuelven arenosas, desiguales y adoptan una forma de panal o escamas.



Tulou se agrieta debido a la contracción.

Fuente: ヤマちゃん 1 世⁵⁶

El fenómeno de las grietas es una de las formas más comunes de daño en los *Tuqiang*. Según el estudio de la obra de tierra, la longitud de las grietas varía desde unos pocos centímetros hasta decenas de metros; la anchura varía desde unos pocos milímetros hasta decenas de centímetros; y la profundidad de las grietas puede llegar hasta los 60 centímetros. Durante el proceso de secado, los *Tuqiang* se agrietan debido a la contracción natural del material. Bajo la influencia de lluvias repetidas, cambios de temperatura, exposición al sol y fluctuaciones de humedad, la microestructura interna del *Hangtu* se ve alterada y las uniones

⁵⁶https://cn.tripadvisor.com/LocationPhotoDirectLink-g1222337-d502854-i508424169-Hakka_Houses-Yongding_County_Fujian.html

entre las partículas se debilitan, lo que provoca la expansión de las grietas. Con el paso del tiempo, nuevas grietas siguen formándose e interactuando con las grietas originales, lo que contribuye a una disminución en el rendimiento estructural del muro.

El desprendimiento de escamas o bloques es otro fenómeno importante de deterioro en los *Tuqiang*. Debido a la influencia de tifones y fuertes lluvias, las precipitaciones impactan directamente sobre los muros, provocando su erosión. El *Hangtu* se ablanda y se endurece con la humedad. El agua asciende capilarmente desde el suelo, lo que provoca principalmente un aumento en el contenido de sales, que sufren disolución, migración o precipitación. Esto lleva a una reducción en la resistencia del material debido a la erosión salina. Los ciclos repetidos de lluvia y fluctuaciones entre humedad y sequedad agravan la pérdida de resistencia, hasta el punto de que algunas estructuras de construcción de tierra pueden colapsar o destruirse.

13.2 Erosión por sales solubles

Degradación de la resistencia del *Tuqiang* bajo la erosión salina y los ciclos húmedo/seco. Se tomaron muestras de materiales de *Tuqiang* de diferentes alturas de los muros de hakka *Tulou* demolidos y se analizaron químicamente para medir la salinidad. Los resultados mostraron que la salinidad aumentaba de la parte superior a la inferior del muro. Para entender mejor el efecto de la salinidad, se mezclaron diferentes niveles de cloruro sódico (NaCl), sulfato sódico (Na_2SO_4) y cloruro cálcico (CaCl_2) en la tierra desalada para fabricar probetas remoldeadas que fueron sometidas a pruebas de resistencia.

En los análisis, se detectaron diferentes complejos insolubles o hidróxidos en el suelo apisonado. El dióxido de silicio (SiO_2) y el óxido de aluminio (Al_2O_3) fueron los principales compuestos del suelo, formando cuarzo, caolinita y mica. El proceso de hidratación del óxido de calcio (CaO) se produce a través de hidratación. Como resultado de la carbonatación, se forma carbonato cálcico (CaCO_3). Cabe señalar que, a lo largo de la historia de la construcción con *Hangtu*, la formación de CaCO_3 estuvo influenciada por diversos factores,

como la temperatura, la presión parcial de CO_2 y la composición y propiedades del CaO original.

Por otro lado, el sulfato cálcico precipitado (CaSO_4), que pertenece a la familia de el cal, se produce por la reacción entre cationes Ca^{2+} y aniones SO_4^{2-} . Además, se identificaron algunos complejos en forma de zeolitas ($\text{CaAl}_2\text{Si}_6\text{O}_{16}$) y silicatos de calcio y aluminio ($\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$).



Foto 49 Erosión salina de un *Tuqiang* ⁵⁷

Fuente:Luo Yi

El *Tuqiang* presentaba una mayor rotura en la parte inferior, y el grado de rotura disminuía con el aumento de la altura del muro. El color blanco visible de la sal disuelta en la parte inferior del *Tuqiang*, junto con las grietas más anchas y largas, indica un aumento de la salinidad debido a la aparición de fenómenos capilares, lo que reduce la durabilidad de la estructura de *Hangtu*.

Los suelos inestables, como los materiales de *Hangtu*, se consideran medios porosos, y la sal puede provocar fácilmente su deterioro debido a los cambios de temperatura y humedad. Las sales más comunes encontradas en el *Hangtu* son cloruro sódico, sulfato sódico y cloruro cálcico, cada una de las cuales desencadena un mecanismo de deterioro específico.

⁵⁷ <https://www.capitalmuseum.org.cn/hdsq/content/attach/site2/20211029/f48e38b6123b22e5a41b09.pdf>

Las estructuras de *Hangtu* pueden degradarse gravemente no solo en presencia de sal, sino también cuando ocurren cambios en la humedad. Durante las precipitaciones, el flujo de agua subterránea puede fluctuar, y el agua asciende capilarmente desde el suelo hasta la parte superior del muro. Los gradientes de sal, combinados con los cambios de temperatura y humedad, pueden alterar la morfología de las sales solubles, lo que a su vez provoca cambios en el volumen del suelo. El cloruro de sodio (NaCl), el sulfato de sodio (Na_2SO_4) y el cloruro de calcio (CaCl_2) son las principales sales encontradas en los suelos compactados, y la cristalización de estas sales genera fuerzas que afectan la integridad estructural del suelo compactado.

13.3 Deformación y descascarillado del revestimiento mural

Las paredes de los edificios *Tulou* están recubiertas de cal, lo que no solo refuerza la dureza de las paredes, sino que también previene que el cal se desprenda, además de añadir un valor estético a las superficies. Sin embargo, se ha observado que en el primer piso de un edificio *Tulou* suelen producirse abombamientos y desprendimientos de la capa exterior de las paredes, especialmente en las áreas cercanas al pasillo. Esto podría estar relacionado con los hábitos de vida de los residentes en el edificio.

El *Tulou* es como una pequeña sociedad funcional en sí misma, y los edificios modernos están equipados con cocinas, chimeneas y otras infraestructuras esenciales. En el pasado, cuando se utilizaba madera como combustible para cocinar, se generaba mucho humo, lo que resultaba en una contaminación de las paredes. Además, la superficie de la pared estaba constantemente expuesta a humos de cocina a altas temperaturas, lo que, junto con la alta humedad del aire, provocaba que la superficie de la pared experimentara expansión y contracción térmica.

Este ciclo de alternancia entre seco y húmedo, combinado con la exposición constante a los vapores y la humedad, genera deformación y descamación del revestimiento de la pared con

el tiempo. No solo afecta la estética general del edificio, sino que también reduce la dureza de la pared, lo que compromete su integridad estructural.



Foto 50 La vida de los residentes en *Tulou*⁵⁸

Fuente: *namlow*

13.4 Agrietamiento y deformación de los componentes de madera

El material de estructura de madera en los *Tulou* es una parte fundamental de su construcción y también un importante portador de la cultura *Tulou*. Tradicionalmente, se utilizaba madera de cedro para la construcción de los *Tulou*. Este material se pelaba utilizando herramientas manuales y luego se ahumaba para reducir su contenido de humedad, lo que ayudaba a evitar la deformación y el agrietamiento de la madera, además de aumentar su resistencia mecánica. Este proceso también mejoraba el rendimiento de la madera y prevenía su descomposición, lo que prolongaba su vida útil.

Tras una investigación, se ha encontrado que las paredes de *Hangtu* y los elementos de madera de los *Tulou* son relativamente fuertes en cuanto a su combinación con mortaja y espiga. Sin embargo, debido al largo período de tiempo y la influencia de factores naturales

⁵⁸ <https://www.hakkaonline.com/thread-73002-1-1.html>

como la lluvia, la luz solar, los hongos que pudren la madera y las termitas, los pilares de madera, las vigas y otros componentes de madera tienden a agrietarse y deformarse, especialmente en las áreas que están sobrecargadas o más expuestas a la humedad.

Las variaciones de humedad y la iluminación desigual de los componentes de madera en los *Tulou* favorecen el agrietamiento y la deformación de la madera. Esto no solo reduce su resistencia y dureza, sino que también altera su forma original. Las grietas en la superficie de la madera crean un entorno propicio para el crecimiento de mohos y la infestación de plagas, lo que acelera la corrosión biológica de la madera y afecta gravemente a su vida útil.

Además, el uso constante de las tablas de cedro por parte de los residentes de los *Tulou*, así como el creciente turismo en la zona, provoca un desgaste significativo de las tablas del suelo y los peldaños de las escaleras. A medida que más turistas nacionales y extranjeros visitan los *Tulou*, el daño adicional a estos componentes de madera es inevitable, lo que incrementa aún más la necesidad de mantenimiento y protección.



Foto 51 Daños en la estructura de madera de la cocina del *Tulou*⁵⁹

Fuente: *namlow*

⁵⁹ <https://www.hakkaonline.com/thread-73002-1-1.html>

13.5 Enfermedades biológicas de los elementos de madera

La fibra orgánica de la madera tiene una textura hidrófila, lo que significa que se expande al absorber agua y se contrae al perderla. Esta propiedad hace que la humedad ambiental tenga un impacto significativo en los componentes de madera. Las fluctuaciones de temperatura y humedad son aún más perjudiciales, ya que favorecen el crecimiento y la reproducción de mohos y plagas. El entorno de alta temperatura y humedad también facilita la erosión de la madera por organismos nocivos.

En los *Tulou*, se han detectado diversas enfermedades biológicas en los elementos de madera, tales como hongos que pudren la madera, termitas, insectos perforadores (como las abejas autóctonas), ratas y pájaros. Entre estas plagas, los hongos que pudren la madera y las termitas son las más dañinas. La inspección reveló que estas enfermedades se encuentran principalmente en las columnas de madera en contacto con el suelo, las vigas en contacto con el techo y otros elementos de madera expuestos.

La corrosión microbiana y la infestación de insectos en los elementos de madera constituyen un problema potencial. Aunque algunos de estos elementos no muestran cambios visibles en su aspecto exterior, se han vuelto huecos y han perdido su capacidad de soportar cargas. Si no se toman medidas de refuerzo a tiempo, esto podría resultar en la fractura de los componentes de madera o incluso en un colapso grave. Según el estudio realizado, la corrosión más severa se presenta en las columnas de madera en contacto con el suelo, lo que resalta la urgencia de implementar medidas de refuerzo para protegerlas adecuadamente.



Foto 52 Situación de las termitas en la casa de Tiakun, Baisha⁶⁰

Fuente: Control de plagas Co., Ltd. de Fujian Zilong

13.6 Destrucción causada por el hombre

Los hakka *Tulou* tienen una larga tradición de construcción y son las viviendas ancestrales del pueblo hakka. Con el desarrollo de la industrialización y la urbanización, las condiciones de vida en las zonas rurales han mejorado significativamente, lo que ha provocado una transición gradual en los modos de vida y viviendas tradicionales. Con el fin de contar con un entorno vital más adecuado, muchos de los residentes originales han optado por reconstruir parcialmente sus *Tulou* o incluso mudarse a edificios modernos de hormigón para satisfacer las crecientes demandas de la vida contemporánea.

⁶⁰ <https://www.meipian.cn/2lmgmwh0>

Los *Tulou* presentan limitaciones en cuanto a servicios esenciales como agua corriente, sanitarios, cocinas, electrodomésticos y iluminación, lo que ha llevado a muchos residentes a modificar la estructura original. Algunas de estas alteraciones incluyen la construcción de cocinas y aseos adicionales, la instalación de cables eléctricos, la ampliación de ventanas y la construcción de refugios para animales. Estas modificaciones han afectado, en cierta medida, la estructura interna y el diseño general de los *Tulou*. Además, algunos habitantes han decidido mudarse por completo a edificios modernos cerca de los *Tulou*, sin llevar a cabo reparaciones, conservación o gestión adecuada de los *Tulou* originales, lo que ha acelerado su abandono e incluso el colapso de estas estructuras históricas.



Foto 53 Unidades reconvertidas en el edificio secundario del bloque de revitalización del pueblo de Lianxin, en el condado de Pinghe.⁶¹

Fuente: Aitachuanqi

⁶¹ https://www.sohu.com/a/348993675_653164



Foto 54 *Tulou* colapsado

Fuente: Elaboración propia

14. Intervención y reparación

En la actualidad, muchos edificios se encuentran en un estado de conservación deficiente debido a la falta de mantenimiento y al abandono constante durante el último medio siglo. Esta situación ha agravado la vulnerabilidad de estos edificios. Los *Tulou* son especialmente susceptibles a la lluvia y los terremotos. Las grietas son una forma frecuente de daño en estos edificios y tienen un impacto particular en su rendimiento estructural. Las grietas actúan como canales preferidos para la infiltración de agua de lluvia, lo que moja directamente el *Tuqiang* y reduce significativamente sus propiedades mecánicas. La presencia de grietas estructurales en los *Tuqiang* disminuye su capacidad de carga y rigidez, socavando el rendimiento general de la estructura. [60]

Es necesario resolver una serie de problemas derivados de la escasez de recursos en *Shengtu*. ¿Cómo mejorar el entorno humano manteniendo el paisaje de los pueblos de *Hangtu* mientras se incorporan nuevos materiales en el proceso de renovación de los *Tulou*? ¿Cómo construir casas de *Hangtu* de manera eficiente en el uso de recursos, cuando la

fuelle de tierra se está agotando? A medida que disminuye el número de trabajadores que dominan las técnicas tradicionales de construcción con *Hangtu*, ¿cómo combinar las técnicas modernas y tradicionales para crear nuevos oficios, tecnologías, métodos y perspectivas que permitan transmitir estas técnicas de construcción? Estos son problemas reales que deben abordarse en la renovación de los pueblos de *Hangtu*, y el propósito de este artículo es explorar teorías y estrategias aplicables para hacer frente a estos desafíos.

Hoy en día, existen muchos modelos de renovación de pueblos, cada uno con sus propias ventajas y desventajas. Sin embargo, las teorías son relativamente anticuadas y fragmentadas, y las estrategias de renovación para pueblos construidos con distintos materiales en diversas regiones son muy diversas. Aunque hay numerosas guías teóricas desde una perspectiva macro, no se ha profundizado adecuadamente en los modelos de renovación de pueblos, desde lo macro hasta lo micro. Además, no se ha adoptado un enfoque desde la perspectiva de los materiales de construcción y la planificación urbana, lo que lleva a renovaciones incompletas y descoordinadas. Para estudiar los pueblos y *Tulou*, realizaremos un análisis comparativo desde lo macro hasta lo meso y finalmente lo micro. Posteriormente, propondremos las estrategias de renovación más adecuadas a nivel micro para los pueblos y *Tulou*, con el fin de ofrecer una base teórica sólida para la protección, restauración, desarrollo y uso sostenible de los pueblos de *Hangtu*, y ayudar a estos pueblos a encontrar una nueva dirección de renovación en el contexto de la escasez de recursos de tierra. [61]

14.1 Reparación de suelos compactados inestables mediante lechada de cemento

La reparación de grietas en el *Tuqiang* generalmente se realiza mediante la inyección de mortero o lechada de barro. Sin embargo, el mortero tiende a encogerse y agrietarse, lo que dificulta restablecer la continuidad del material original. Para solucionar estos problemas, se recomienda utilizar una lechada de barro compatible con el *Hangtu* para rellenar las grietas, aunque este enfoque se complica cuando las grietas son finas.

Los experimentos han demostrado que las lechadas de barro mezcladas con materias primas del *Tuqiang* son eficaces para restaurar la resistencia al cizallamiento, aunque tienen un rendimiento inferior en cuanto a la restauración de la rigidez inicial al cizallamiento. Las lechadas de barro no modificadas mostraron una mejor adherencia al reparar muros de adobe. Sin embargo, los estudios al respecto son aún limitados y se han realizado con muestras a pequeña escala, lo que dificulta garantizar su aplicabilidad en un contexto más amplio. [59]

La inyectabilidad (fluidez, permeabilidad y capacidad de retención de agua) de la lechada utilizada pareció ser suficiente para rellenar completamente las diferentes anchuras de grieta visibles en las pequeñas muestras de *Tuqiang* no estabilizado reparadas. Sin embargo, la dificultad experimentada para rellenar completamente las grietas horizontales de los *Tuqiang* sugiere que se debe tener especial cuidado en evacuar el aire cuando se inyecten dichas grietas en *Tuqiang* pequeños e inestables.

Proceso de preparación [62]:

La tierra se tamiza mediante un tamiz de 2 mm y se deja secar. El contenido de agua se determina según la prueba del caudalímetro, conforme a la norma EN 1015-3, buscando un valor de caudalímetro de 14 cm.

Material de rejuntado: Su resistencia a la flexión es de 0,72 N/mm², con una densidad aparente de 1,69 g/cm³ y una retracción lineal del 7,2%.

Mortero de reparación: Su resistencia a la flexión es de 1,01 N/mm², la densidad aparente es de 1,84 g/cm³ y la retracción lineal es del 4,4%.

A través de estas proporciones y procesos específicos, el estudio demuestra cómo se puede lograr una reparación efectiva de las estructuras de *Tuqiang* utilizando suelos no estabilizados que se ajusten al material original, considerando la movilidad, resistencia y estabilidad volumétrica del material.

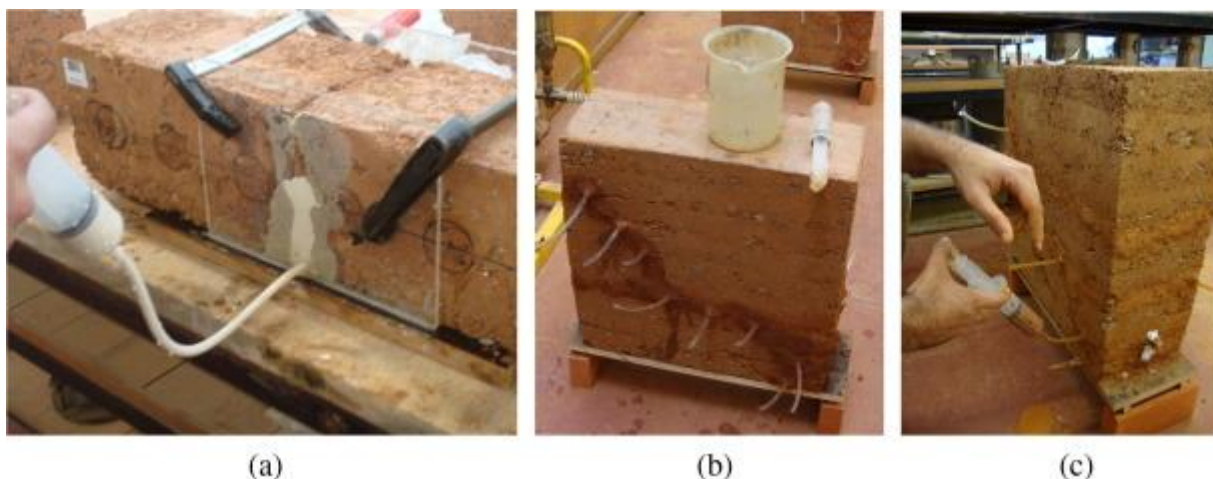


Foto 55 Reparación de pequeñas muestras de *Hangtu* no estabilizada: (a) Inyección de vigas; (b) Sellado de grietas en *Tuzhuan*; (c) Inyección de *Tuzhuan*.

Fuente: Fujian Tulou Rammed Earth Structures: Optimizing Restoration Techniques Through Participatory Design and Collective Practices[62]

Lechada A mostró pobres resultados de remediación en las pequeñas muestras de vigas de suelo compactado no estabilizado, mientras que *lechada B* presentó resultados aceptables. Este resultado sugiere la conveniencia de utilizar el mismo suelo que se empleó en la construcción original para componer la lechada en las intervenciones de restauración, con el fin de cumplir con los requisitos de compatibilidad y adherencia. Además, el desarrollo de lechadas premezcladas como solución general parece presentar ciertos inconvenientes.

Lechadas B y C demostraron una capacidad restauradora similar y satisfactoria para restaurar la resistencia al cizallamiento de las bolsas de carga, aunque aún no alcanzaron una restauración completa. La capacidad de restauración utilizando únicamente lechada se ve limitada por microdaños en el material cercano a las grietas.

Observaciones sobre la eficacia de la reparación de grietas:

Los *Tuqiang* reparados mostraron el mismo patrón de agrietamiento en la segunda prueba que en la primera, lo que indica que las grietas reparadas continuaron siendo la superficie de fallo preferida. En las muestras reparadas, algunas de las grietas horizontales se encontraron incompletamente rellenas, posiblemente debido a la incapacidad de eliminar completamente el aire atrapado en las grietas. Se detectaron pequeñas lagunas en la lechada endurecida, lo que podría haber contribuido al rendimiento inferior de las muestras reparadas.

La menor anchura de grieta observada fue de aproximadamente 1 mm, pero la lechada experimental logró inyectarse en grietas tres veces mayores que el tamaño máximo de grano (aproximadamente 0,54 mm), lo que indica una buena penetración del lodo.

Debido al relleno incompleto de las grietas y la presencia de huecos en la lechada de barro endurecida, estos problemas pueden afectar el rendimiento estructural global de los *Tuqiang* reparados. En particular, la región interfacial tras la reparación de las grietas puede convertirse en el punto débil más probable de fallo en futuros esfuerzos. Esta falta de efectividad en la reparación de las grietas lleva directamente a una disminución en el rendimiento estructural después de la reparación, lo que se manifiesta en la reducción de los indicadores de resistencia a la compresión, resistencia a la tracción y resistencia al cizallamiento.

14.2 Tecnología de autocuración microbiana para *Tuqiang*

Las bacterias producen ureasa durante el metabolismo e hidrolizan la urea para formar iones de amonio y carbonato. La materia orgánica hidrosoluble cargada negativamente (normalmente proteínas o glucoproteínas ácidas, fosfoproteínas, etc.) en la interfaz de la membrana celular bacteriana se une continuamente a los iones de calcio, y el carbonato formado durante la hidrólisis de la urea reacciona para mineralizarse gradualmente y depositar cristales de carbonato cálcico cerca de las bacterias. Una lechada autorreparadora para grietas compuesta por microorganismos (*Bacillus pasteurianus*), sales de calcio, urea, cal hidratada, cal, tierra y agua. La mezcla de microorganismos, sales de calcio y urea se

denomina agente autocurativo. La formación de cristales se utiliza ampliamente en campos como la ingeniería geológica, la industria petrolera y la ingeniería civil, especialmente en la tecnología de autocuración del hormigón. El uso de bacterias para producir carbonato cálcico para reparar grietas en *Tuqiang* tiene ventajas medioambientales, especialmente a través de la vía de descomposición de la urea. En comparación con los métodos convencionales, proporciona una solución autorreparadora sin necesidad de agentes reparadores externos y mejora eficazmente la durabilidad de los *Tuqiang*. [63]

Producción de purines: Se compone de partículas de tierra (tierra removida, tamaño de tamiz 2 mm), cal apagada, cal, agente autorreparador y agua; la proporción de partículas de tierra, cal y cal apagada es de 6:3:1 con un contenido de humedad del 45%; el agente autorreparador se compone de portadores bacterianos, cloruro cálcico y urea en una proporción de 7:2:1 en masa, y la cantidad es en porcentaje del material gelificante (compuesto de cal apagada, cal y cal hidratada).

Las bacterias tienen una tasa de crecimiento y una actividad enzimática óptimas a pH 9, pero se inhiben a valores de pH superiores a 9. Se utilizó cal como soporte bacteriano para adaptarse al medio alcalino. Se comprobó que la dosificación del agente autorreparador debía controlarse en torno al 6% del material cementante para garantizar que no afectara significativamente al rendimiento del lodo. El efecto reparador óptimo se conseguía cuando la anchura de la grieta era inferior a 0,5 mm, y el mantenimiento en ciclo húmedo y seco era más adecuado para el entorno real. El experimento verificó la viabilidad de la tecnología de autorreparación microbiana en la reparación de grietas en *Tuqiang* de *Tulou* y sus condiciones óptimas de funcionamiento. [63]

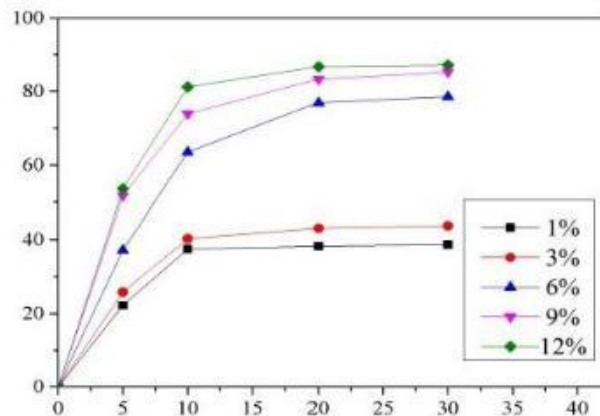


Foto 56 Índice de reparación del área de la grieta con diferentes dosis de agente autorreparador

Fuente: Experimental investigation on Reinforcement of Defective TuLou by Microbe[63]

De la curva se desprende que el aumento de la dosis de agente reparador puede mejorar el efecto reparador hasta cierto punto, pero el efecto de mejora es limitado; porque el aumento de la dosis de agente autorreparador sólo aumentará la dosis de bacterias activas y Ca^{2+} , y su excelente rendimiento autorreparador debe ser la combinación más eficaz de actividad bacteriana y Ca^{2+} . La influencia del efecto autorreparador es muy compleja, no es sólo una combinación de unos pocos factores de influencia simples, sino que implica la mineralización de la grieta y el mecanismo de reparación. Los mejores resultados de reparación se obtuvieron con un material gelificante del 6%. Al cabo de 30 días se alcanzó una tasa media de reparación del 85,3%. La tasa de reparación del área no se vio afectada por el aumento de la cantidad de agente autorreparador. Además, el aumento de la cantidad de agente autorreparador sólo tendría un impacto negativo en el rendimiento del material gelificante y supondría un desperdicio de material. Puede observarse que la dosis recomendada de agente autorreparador es del 6% de la cantidad de material cementoso.

14.3 Refuerzo de la estructura de madera de *Tulou*

Se presentan diversas fibras adheridas externamente y morteros reforzados, así como medidas innovadoras de refuerzo.[64]]En concreto, esto incluye el refuerzo de las interfaces y juntas críticas de los bloques de *Hangtu* mediante la inserción de cuñas y pasadores de hormigón armado, los cuales se apisonan junto con el *Hangtu* durante la construcción para prevenir la formación de grietas. Además, se propone un sistema de anclaje de las viguetas del suelo para incrementar la rigidez del forjado y mejorar la estabilidad estructural general. Se pone especial énfasis en el refuerzo del diafragma del suelo, esperando que estas medidas contribuyan significativamente a mejorar el comportamiento sísmico y la durabilidad global de la estructura de *Hangtu*. Cabe destacar que estos métodos de rehabilitación no se han implementado de forma generalizada hasta ahora.

Sistema de anclaje de las viguetas del forjado: Se propone un sistema sencillo de anclaje de las viguetas del forjado con el objetivo de mejorar su rigidez.

Cuñas y pasadores de hormigón armado: Se insertan cuñas y pasadores de hormigón armado en las interfaces y juntas críticas del bloque de *Hangtu*. Estos elementos pueden integrarse con el bloque de *Hangtu* durante la construcción sin interferir en el proceso de apisonado. Los pasadores se colocan en orientación vertical para inhibir el agrietamiento en las juntas de la base, mientras que las cuñas se insertan horizontalmente para reforzar las juntas de esquina e impedir la formación de grietas verticales.

Para facilitar el proceso de construcción y considerando la disponibilidad de materiales, se insertaron pasadores y cuñas de hormigón armado en las interfaces y juntas críticas del bloque compactado. Los pasadores, ubicados verticalmente, previenen la fisuración en las juntas de la base del bloque, y las cuñas, colocadas horizontalmente, refuerzan las juntas de esquina e inhiben el desarrollo de grietas verticales.

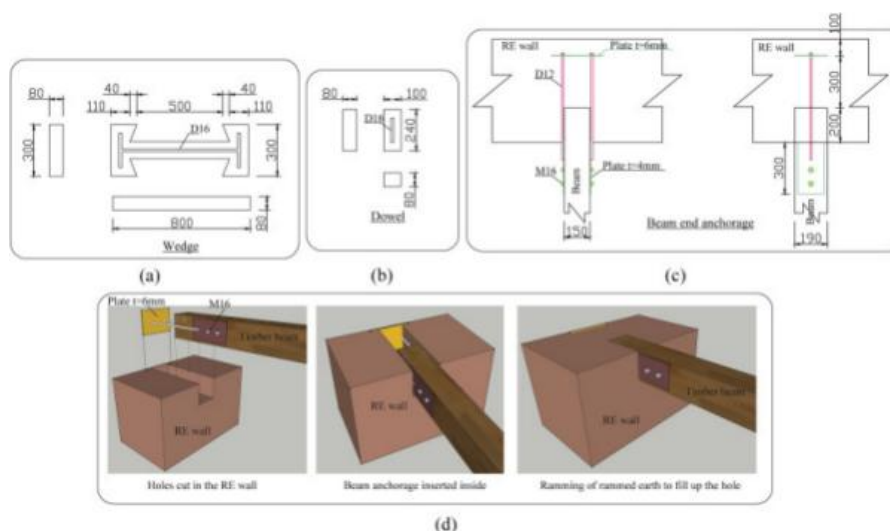


Foto 57 (a) Elementos de bloqueo de hormigón armado, (b) Bulones de hormigón armado, (c)Anclajes de extremo de viga, y (d) Procedimiento de anclaje de *Tuqiang* .

Fuente:Strengthening of rammed earth structures with simple interventions[64]

Los *Tuqiang* sin reforzados son susceptibles a la ruptura bajo tensiones, especialmente en las juntas de las esquinas del muro, donde tienden a separarse. En cambio, el muro reforzado con pernos y cuñas de hormigón armado presentó una resistencia significativamente mayor, lo que redujo considerablemente el alcance de los daños. Además, los muros reforzados aumentaron la rigidez general de la estructura gracias al anclaje de las vigas de madera del suelo, lo que contribuyó a mejorar su estabilidad. En conjunto, los muros reforzados mostraron un incremento del 59% en la capacidad de tracción. Los resultados de la simulación también predijeron con éxito el rendimiento observado en el experimento.

Además, la técnica de intervención incluye el anclaje de las vigas de madera al suelo. Estas vigas se fijaron al *Hangtu* circundante, y se colocaron placas de acero en los extremos de las vigas para actuar como refuerzos contra el deslizamiento. Además de reforzar las paredes delantera y trasera, se espera que el anclaje de las vigas aumente la resistencia y rigidez de los forjados, haciéndolos más fuertes que los no reforzados.

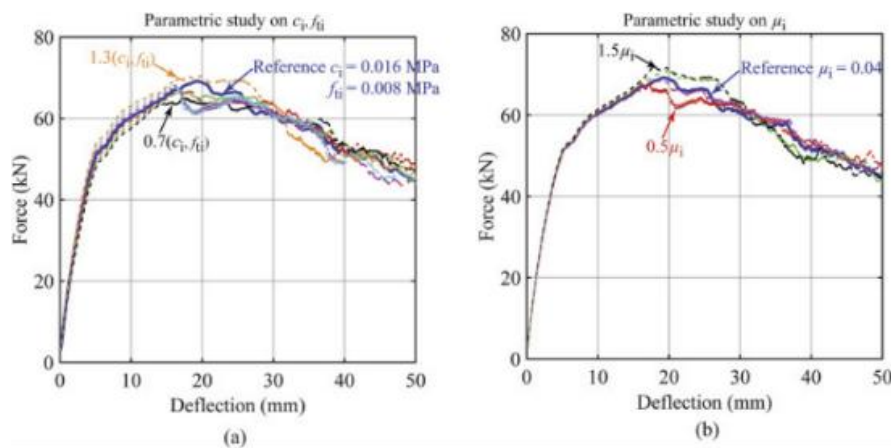


Foto 58 Estudio paramétrico de (a) la cohesión (c_i) y la resistencia a la tracción (f_{ti}), (b) El ángulo de fricción (μ_i).

Fuente: Strengthening of rammed earth structures with simple interventions 【58】

14.4 Restauración de estructuras de madera contra plagas y enfermedades

A partir del resumen de las plagas y enfermedades, se han recopilado las siguientes soluciones correspondientes a la patología[65][66][67][68]

·TRATAMIENTO DE CARCOMA:

Existen diversos métodos para combatir la carcoma, y la elección del tratamiento más adecuado depende principalmente del tamaño y grosor de la madera afectada. A continuación, se detallan varios métodos:

·Pulverización/aplicación de insecticida (para madera fina):

Este método consiste en aplicar un insecticida líquido con un pincel o pulverizador sobre la superficie interna y externa del mueble o la madera afectada. Tras la aplicación, se debe cubrir el mueble con una lámina de plástico para retener los vapores del producto, incrementando así la eficacia del tratamiento. El mueble debe permanecer cubierto durante dos o tres semanas.

· **Insecticidas inyectables (para madera poco erosionada):**

Este tratamiento está diseñado para maderas levemente infestadas de carcoma. Se inyecta el insecticida en las galerías creadas por la carcoma y luego se sellan los agujeros con cera. Al entrar en contacto con los gases del insecticida, las larvas mueren. Este procedimiento debe repetirse anualmente para interrumpir el ciclo vital del insecto.

· **Humos insecticidas y nebulización:**

En casos en los que el acceso a la madera es complicado, se emplean sistemas de micropulverización que generan una nube de partículas que se adhieren a la superficie, formando una película de insecticida que elimina los insectos con los que entra en contacto. Sin embargo, este tratamiento solo actúa superficialmente, por lo que no afecta a los insectos en el interior de la madera.

· **control de plagas a alta temperatura:**

Basado en la susceptibilidad de las larvas a temperaturas superiores a 55-60°C durante 30-60 minutos, este método se emplea para esterilizar productos de madera en secaderos. Aunque este método no se utiliza en España, se puede optar por el tratamiento de choque térmico a bajas temperaturas, que requiere cámaras frigoríficas o sistemas con nitrógeno líquido, y es ideal para objetos transportables como muebles, libros y textiles.

· **Tratamiento por gasificación:**

Este método es especialmente adecuado para combatir carcoma de ciclo larvario en piezas pequeñas o de alto valor, que no pueden ser desmontadas o cuyo material es delicado (como obras de arte o muebles antiguos). Se coloca el objeto en un “encapsulado” y se aplica un gas tóxico, que penetra fácilmente en los agujeros de la madera, eliminando las larvas. La cantidad de gas se ajusta en función del volumen del espacio tratado.

· **Barrera Química en la madera:**

Este método se aplica a la madera estructural de las edificaciones para prevenir infestaciones de termitas mediante la introducción de un producto termiticida. El sistema consiste en insertar tapones de jeringuilla en la madera a intervalos de 20-25 cm, a través de los cuales se inyecta el termiticida. Este producto impregna la madera, haciéndola más resistente y duradera. Para aplicar este tratamiento, es necesario “destapar” la madera, lo que permite inspeccionar aquellas secciones que puedan haber perdido sus funciones estructurales.

·Establecimiento de barreras de plaguicidas químicos:

Este método implica la colocación de jeringuillas a intervalos de 25 cm alrededor de la edificación, a través de las cuales se inyectan grandes cantidades de insecticida líquido. Es necesario tratar múltiples niveles, como la planta baja y el sótano, donde puede haber riesgo de infestación por termitas.

·Cebo envenenado:

Este tratamiento consiste en aplicar un biocida en forma de cebo en el nido de termitas. El cebo contiene una formulación especial de Hexafluron, un insecticida de efecto retardado que es indetectable para las termitas. A través de la trofalaxis (intercambio de alimentos), las termitas ingieren el biocida y lo transmiten a otros miembros de la colonia, lo que eventualmente lleva a su eliminación.

Cabe mencionar que, según información proporcionada por un estudiante de ciencias agrícolas, el uso de pesticidas tóxicos como estos no está permitido en la Unión Europea, ya que representan un riesgo para el ecosistema y podrían envenenar otras especies debido a su toxicidad y potencial de contagio. No obstante, este método sigue siendo una opción eficaz y precisa para combatir las infestaciones de termitas.

15. Análisis de las intervenciones e investigaciones sobre la construcción de la tierra

La construcción con tierra ha sido descuidada e incluso infravalorada, a pesar del creciente interés que suscita por su respeto al medio ambiente y su potencial como material para edificaciones ecológicas. Sin embargo, actualmente solo se construyen unos pocos edificios nuevos con tierra, principalmente residencias que emplean en gran medida bloques de tierra comprimida.

Uno de los principales retos que enfrenta la construcción moderna con tierra es la escasez de personal cualificado en todos los niveles, desde arquitectos hasta obreros. Aunque la arquitectura con tierra era muy popular hace algunas décadas, hoy en día está prácticamente olvidada, y casi nadie sabe cómo emplearla.

Existe un rico patrimonio de arquitectura en tierra, que incluye tanto construcciones de gran valor histórico como edificaciones rurales y urbanas más pequeñas. Sin embargo, muchas de estas edificaciones de tierra se encuentran en un grave estado de deterioro, y a menudo los propietarios optan por demolerlas en lugar de restaurarlas. Además, las restauraciones suelen ser inadecuadas, salvo en algunos casos de edificios monumentales.

Los recursos arquitectónicos en tierra, en particular, corren el riesgo de deteriorarse debido a la falta de cuidado y mantenimiento. Esto es especialmente crítico para muchos edificios del patrimonio cultural en China que no están reconocidos ni protegidos como atracciones turísticas de primer nivel, como aquellos que no figuran en la 《Lista del Patrimonio Mundial de la UNESCO》 o que no ocupan los primeros puestos en las clasificaciones turísticas. Estos sitios, a menudo infravalorados desde un punto de vista cultural, estético o arquitectónico, requieren un sistema de valoración eficaz que permita descubrir su valor y, en función de ello, formular planes adecuados de conservación o desarrollo.

En la práctica, las funciones preferidas para los movimientos de Grado I incluyen la habilitación de museos u otros usos expositivos sin ninguna reurbanización; los de Grado II están destinados a convertirse en tiendas, centros de actividades o salas de exposiciones,

con una reurbanización limitada y el consentimiento de la comunidad; por último, los de Grado III deben transformarse en espacios multifuncionales con menores restricciones. Los procedimientos y sistemas de evaluación pueden aplicarse a otros sitios de patrimonio natural, cultural o mixto, además de los *Tulou*, para formular recomendaciones de políticas eficaces en conservación del patrimonio y desarrollo turístico.

El principal desafío de los proyectos de reutilización adaptativa radica en la falta de rigor a la hora de decidir la nueva función de los *Tulou*. Esta decisión debería basarse en un enfoque analítico y científico para asegurar que se despliega la estrategia más adecuada. Enfocarse únicamente en la reutilización del *Tulou* resulta insuficiente sin considerar el análisis y la planificación necesarios.

El núcleo de la conservación del hakka *Tulou* reside en el estudio profundo y la transmisión de la cultura tradicional que lo sustenta, incluyendo conceptos. La conservación del *Tulou* no debe limitarse a sus aspectos materiales, sino que debe abarcar también la integridad y continuidad de su cultura intangible y su entorno histórico y cultural. Las medidas específicas incluyen la preservación de la forma residencial original del *Tulou*, la excavación y difusión de la cultura hakka, y el mantenimiento del linaje histórico del *Tulou* mediante una estructura de conservación multinivel que combine enfoques puntuales y generales. La investigación futura debería centrarse más en integrar la cultura con la forma física del *Tulou* para mejorar tanto la comprensión como la práctica de su conservación

15.1 Matriz de analisis de inteenciones en bienes arquitectonicos/iba

Dimensión Aspecto	DOCUMENTO (conservación)
MATERIA	-La intervención ha conservado casi todo el edificio, las vigas interiores, los armarios del taller de la planta baja, las ventanas y puertas, la escalera; el exterior de la casa no ha sufrido alteraciones significativas. -Se sustituyó el tejado original (tejas, cerchas, suelo del tejado), lo cual es normal, es una forma de conservar el edificio, es una medida de impermeabilización eficaz que no destruye el valor original del edificio. -Se añadió una nueva parte estructural al lateral del edificio.
FORMA	La actual operación de renovación ha preservado la forma original de la casa, tanto en su planta, perfil como en el interior, manteniendo también el estilo original del edificio (jambas, marcos de puertas y ventanas, balcones, escaleras y balaustradas de las escaleras). El cambio más evidente es la adición de una nueva sección al edificio original; sin embargo, esta no afecta directamente al edificio original, con el fin de no disminuir su valor como elemento tipológico y formal
FUNCIÓN PATRIMONI AL	-Se han añadido nuevas señales al paisaje y se han reparado las carreteras exteriores existentes. -Se han abierto nuevas tiendas ambulantes en el pueblo. -Las intervenciones no restan valor a la documentación histórica del edificio. -Las nuevas tiendas periféricas pueden utilizarse para distintas funciones, como museos, centros de información turística, centros

	cívicos y sociales, etc.
CONTEXTO FÍSICO	-Las intervenciones no cambiarán (preservarán) la relación entre el <i>Tulou</i> y el paisaje urbano circundante. El edificio en sí es una estructura aislada, y las intervenciones que ahora se llevan a cabo no afectarán al entorno circundante, sino que propiciarán el desarrollo de la economía vecina, y la comunidad en su conjunto se mantendrá en su estado original, ya que el <i>Tulou</i> Cluster se construyó originalmente también con fines habitacionales.
CONTEXTO HUMANO	-A principios de la década de 1980, la mayoría de los aldeanos se ganaban la vida mediante la agricultura, y muchos jóvenes emigraban para trabajar en otras regiones. En los últimos años, el gobierno ha aprovechado el estatus de <i>Tulou</i> como Patrimonio Cultural de la Humanidad para guiar a los aldeanos locales en el desarrollo dinámico del turismo verde, creando una vía de revitalización rural que combina la protección ecológica con el alivio de la pobreza y el enriquecimiento de los agricultores. -El edificio no ha perdido su uso original, y la intervención no busca destacar el uso original del edificio.
EMOCIÓN	-Dado que la nueva finalidad del edificio es diferente del uso original, la intervención elimina cualquier rastro de actividad humana previa (huellas, partes dañadas, grafitis). -El nuevo edificio se construye parcialmente con materiales nuevos, y las nuevas instalaciones se diseñan para asemejarse al edificio original. Sin embargo, esta intervención elimina sus preexistencias. -Se busca generar empatía emocional, promoviendo nuevas experiencias y emociones en función de su nuevo uso cultural.

Dimensión	SIGNIFICADO
Aspecto	(restauración)
MATERIA	-El edificio ha perdido parte de su función original, ya que muchas personas ya no viven en él. Por lo tanto, la mayoría de las intervenciones realizadas son medidas de mantenimiento con fines itinerantes. -Sin embargo, se tiene en cuenta el significado original del edificio, siempre que ambos significados no interfieran entre sí y estén relacionados. Sin embargo, por el momento esto no es posible, ya que se ha perdido el significado original de la obra (entre habitar y trabajar). En este sentido, la intervención es, ante todo, un proyecto de construcción y, posteriormente, un proyecto de restauración/desarrollo turístico en cuanto a las dimensiones relevantes.
FORMA	En esencia, la nueva intervención preserva el edificio original tal como se presenta actualmente, ya que no se han realizado cambios drásticos ni se han añadido nuevas estructuras al mismo. La intervención introduce nuevas formas para dotar al edificio de un propósito renovado, como su uso cultural y como monumento. Su arquitectura debe reflejar este propósito para que la sociedad pueda interpretarlo y reconocerlo. A su vez, los nuevos edificios enriquecen la funcionalidad de la zona.
FUNCIÓN PATRIMONI AL	En cuanto a la memoria, que constituye una parte importante de la historia, los principales afectados son los residentes del barrio y los usuarios que viajan o visitan la zona. No existen similitudes significativas entre estos dos grupos destinatarios, y los valores que ambos aprecian son, en gran

	medida, diferentes. La única coincidencia radica en el vínculo entre la preexistencia y el carácter del lugar: su existencia pasada, su relación con las formas y tradiciones del entorno, así como la noción de permanencia temporal. Estos significados se conservan y, en algunos aspectos, se mantienen.
CONTEXTO FÍSICO	Al renovar el entorno turístico y mantener esencialmente la masa y la imagen del complejo, la intervención realza el valor paisajístico del edificio dentro de su contexto urbano. En este sentido, refuerza su función como hito a escala local.
CONTEXTO HUMANO	Su relación tipológica formal con la comunidad se mantiene y refuerza mediante intervenciones, vinculadas a una de las imágenes más características de la cultura hakka y asociadas a la identidad de su pueblo. Como parte del elenco arquitectónico, actúa como símbolo o icono.
EMOCIÓN	Esta intervención cambió la función original del edificio. En la actualidad, las personas que viven allí ya no necesitan utilizarlo para habitar en condiciones de peligro, y el nuevo edificio resulta más cómodo debido al crecimiento de la ciudad.

Dimensión	USO
Aspecto	(rehabilitación)
MATERIA	Se han demolido varios edificios incongruentes alrededor del <i>Tulou</i>, se han reubicado a más de 400 hogares y 2.000 personas, se han reparado más de 20 <i>Tulou</i> y se han pavimentado carreteras en todas las direcciones. Se ha organizado a los aldeanos para reparar las partes dañadas

	de los <i>Tulou</i> , como los tejados, las puertas y las ventanas interiores, entre otros.
FORMA	La revitalización rural no sólo depende de la transformación del espacio físico, sino que también requiere prestar atención a la reconstrucción del espacio social y cultural. Aunque el gobierno y el mercado desempeñan un papel importante en la configuración del espacio rural, sus intervenciones de arriba abajo a menudo conducen a la desconexión y alienación espacial debido a la falta de participación de los aldeanos. Las acciones de demolición y restauración mantienen el estado original de la agrupación <i>Tulou</i>
FUNCIÓN PATRIMONIAL	El espacio físico, como la restauración de <i>Tulou</i> y otros edificios, es portador de relaciones sociales y patrimonio cultural, mientras que la práctica del espacio social y la memoria y los símbolos del espacio cultural también influyen a la inversa en el espacio físico. El desarrollo sostenible del campo requiere la interacción y el equilibrio dinámico entre estos tres tipos de espacios.
CONTEXTO FÍSICO	La nueva instalación promoverá iniciativas creativas en su ámbito de influencia. Además, se espera que la vía de obra restaurada cree nuevo tráfico turístico, revitalizando así la zona y generando una nueva economía en el entorno urbano cercano. A pequeña escala, el nuevo plan podría actuar como centro de desarrollo cultural local.
CONTEXTO HUMANO	El edificio se destinará a una nueva función, que vincula el inmueble al tejido social al que pertenece. En este sentido, las raíces culturales de la arquitectura permanecen arraigadas en el lugar.

EMOCIÓN	El espacio cultural confiere un significado simbólico específico al espacio físico y aúna recuerdos y emociones sociales. Como símbolo cultural, <i>Tulou</i> ha atraído a un amplio abanico de fuerzas sociales para participar en las obras de restauración, lo que demuestra el atractivo del espacio cultural. Sin embargo, el espacio cultural no es estático, y su vitalidad procede de la herencia cultural y la innovación. Gracias a las actividades de integración de viejas y nuevas culturas en el <i>Tulou</i> , éste ha adquirido una nueva vitalidad, promoviendo la revitalización de la cultura rural y la reconstrucción del orden social.
----------------	--

15.2 Análisis de la situación actual de *Tulou*

15.2.1 Falta de protección política pertinente

En una encuesta realizada, se preguntó a los encuestados: "Qué importancia tiene disponer de un código nacional de edificios de tierra y construcción en su país?". Según las respuestas, se consideró muy importante contar con un código nacional en Australia, India, Irán, Malasia, el Reino Unido y los Estados Unidos. El 42%, 35%, 18%, 29%, 22% y 28% de los encuestados lo calificaron como "extremadamente importante"; el 35%, 47%, 63%, 43%, 15% y 25%, respectivamente, lo calificaron como "muy importante"; y el 17%, 5%, 5%, 12%, 35% y 25% lo consideraron "importante". Solo el 6% de los encuestados en Irán, el 22% en el Reino Unido y el 18% en los Estados Unidos lo marcaron como "no importante".

Los expertos consideran que los códigos nacionales son de gran importancia porque creen que mejorarán tanto la calidad como la cantidad de las construcciones de tierra en sus países. Las directrices nacionales pueden ayudar a arquitectos e ingenieros a diseñar y construir

obras de ingeniería civil⁶² y edificios de tierra, lo que, en última instancia, podría aumentar el número de proyectos de edificio de tierra en cada país.[69]

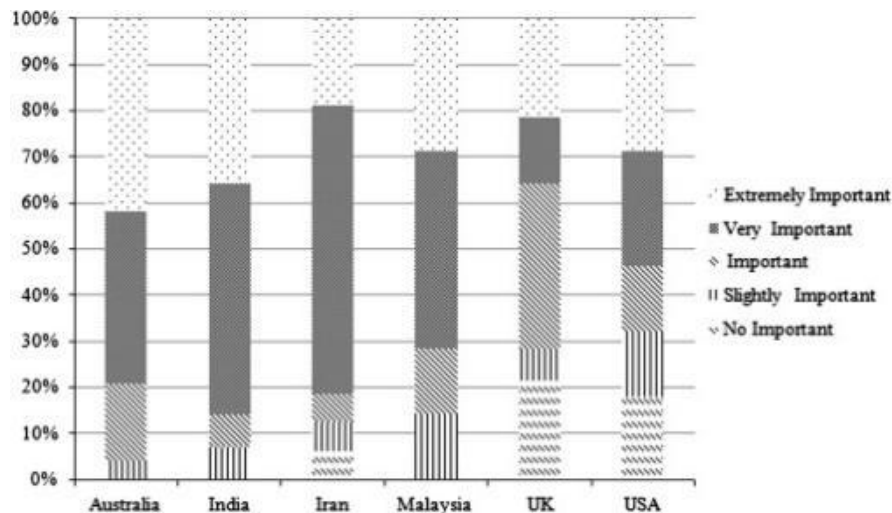


Foto 59 Evaluación de la importancia global de las normas nacionales por expertos de los seis países encuestados.

Fuente: Assessing of Critical Parametrs on Earth Architecture and Earth Buildings as a Vernacular and Sustainable Architecture in Various Countries[69]

La mayoría de los expertos entrevistados en la encuesta sobre el aprendizaje de la construcción civil señalaron que en sus países faltan cursos de formación especializada, lo que limita las oportunidades para convertirse en profesionales certificados en el ámbito de la construcción civil. Sin embargo, los expertos de Irán, India, Malasia y el Reino Unido apoyaron firmemente la introducción de este tipo de cursos para aumentar la profesionalidad en el campo de la ingeniería civil y la construcción, promoviendo así el sector. Por el contrario, los expertos de Estados Unidos y Australia mostraron menos apoyo, lo que refleja las diferencias en la demanda de formación en construcción civil entre los distintos países. En

⁶² En la antigua China, civil se refería a proyectos de construcción con tierra y madera. En los tiempos modernos, generalmente se refiere a todos los proyectos de construcción.

general, los expertos nacionales coincidieron en que se requieren directrices nacionales para respaldar el desarrollo profesional en ingeniería civil y construcción.

Se preguntó a los encuestados: "¿Conoce las directrices y manuales nacionales sobre construcción civil de su país?". La mayoría de los encuestados respondió "No conozco las directrices nacionales" o "No existen directrices nacionales en mi país". En general, la importancia de las directrices y normas nacionales en los países entrevistados era baja, aunque algunos expertos respondieron "Conozco las directrices nacionales de mi país", aunque este porcentaje fue bajo. De manera general, el 28% de los encuestados eligió "No conozco las directrices nacionales", lo que sugiere que muchos países carecen de directrices nacionales sobre arquitectura y construcción vernácula.

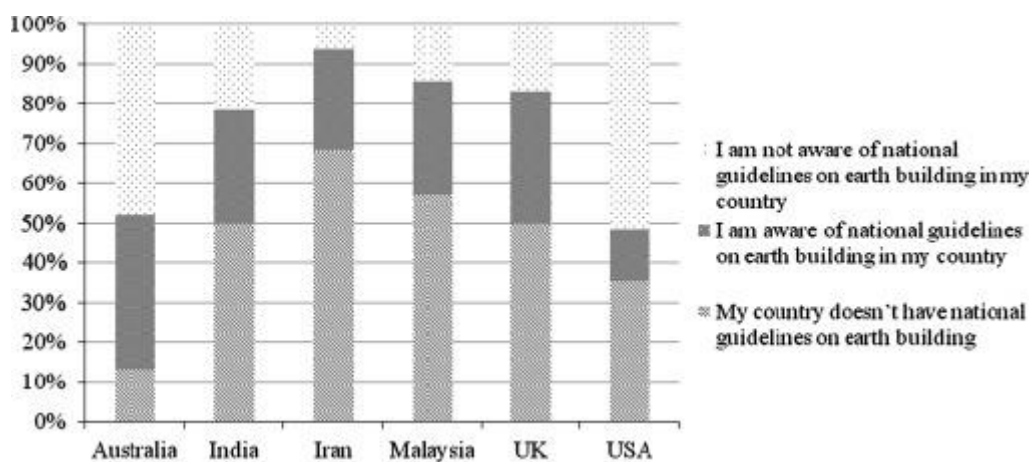


Foto 60 Conocimiento general actual de los expertos encuestados sobre las directrices nacionales en sus respectivos países.

Fuente: Assessing of Critical Parametr on Earth Architecture and Earth Buildings as a Vernacular and Sustainable Architecture in Various Countries[69]

-Formulación de normas para políticas y reglamentos: Se sugiere que, al formular políticas para la protección de los *Tulou*, es necesario mejorar la división de los derechos de propiedad para garantizar que los reglamentos tengan un valor práctico. Además, se subraya que las políticas deben formularse de manera adaptada a las condiciones reales de los *Tulou*, elaborando normas específicas según sus características.

-Formulación y aplicación concreta de políticas y reglamentos: El estudio propone que las políticas de protección de los *Tulou* se basen en sus valores históricos, científicos y artísticos, y que se controle estrictamente la actividad constructiva delimitando las zonas de protección y las zonas paisajísticas a lo largo de los ríos.

La investigación sobre la política de conservación de los hakka *Tulou* se centra principalmente en la normalización de los reglamentos y su aplicación concreta. Las políticas y normativas deben formularse de manera estandarizada según las características específicas de los *Tulou*, y deben tener un valor práctico mejorando las cuestiones de propiedad y perfeccionando las disposiciones legales. Además, se ha propuesto reformar el sistema de gestión del patrimonio cultural, combinando los valores históricos, científicos y artísticos con estrategias para potenciar la protección de los *Tulou* mediante políticas financieras, incentivos fiscales y otros mecanismos. Sin embargo, los estudios existentes siguen siendo insuficientes en términos de sistematicidad y pertinencia. En el futuro, deberían formularse políticas de conservación más completas y específicas, profundizando en las características de los *Tulou*.

15.2.2 La ausencia de cultura *Tulou*

El estudio sobre la política de conservación de *Tulou* reveló que, aunque se propusieron algunos criterios y estrategias para la formulación y aplicación de la normativa de conservación, como el aumento de la practicidad y pertinencia de la normativa mediante la mejora de la cuestión de la propiedad y el perfeccionamiento de las disposiciones legales, el estudio global sigue siendo insuficiente y carece de sistematización y exhaustividad.

Especialmente en lo que se refiere a la formulación y aplicación de políticas específicas, aunque se recomienda recurrir a medidas de conservación del patrimonio, reformar el sistema de gestión, formular incentivos financieros y controlar estrictamente las actividades de construcción relacionadas, estos estudios aún no son lo suficientemente profundos y exhaustivos. La investigación futura debería prestar más atención a la singularidad de *Tulou* y proponer conceptos y estrategias de conservación más holísticos y específicos para garantizar la protección y la herencia de *Tulou* a largo plazo.

-Conceptos insuficientes sobre la conservación y el desarrollo de la aldea: Los *Tulou* poseen un valor histórico y cultural significativo, pero muchos aldeanos carecen de conceptos y conocimientos sobre la conservación de estos edificios, lo que les impide identificar y proteger eficazmente los inmuebles de relevancia cultural, dificultando así las labores de conservación.

-Capacidad limitada para la protección y el desarrollo de las aldeas: Debido a las dificultades de transporte y al atraso económico, las condiciones de vida y el nivel educativo de los aldeanos suelen ser bajos, lo que limita su capacidad para proteger y desarrollar las aldeas. Esta desventaja puede tener un impacto negativo en su desarrollo general.

-Progreso lento en la protección y el desarrollo de las aldeas: Aunque el Estado ha comenzado a implementar restauraciones protectoras en las aldeas tradicionales, la insuficiente asignación de fondos y las malas condiciones de transporte han provocado que la protección y el desarrollo de muchas aldeas remotas avancen de manera lenta. Es urgente incrementar el número de aldeas que reciben apoyo en el país.

15.2.3 Falta de seguridad y espacio

Escasa durabilidad: Debido a la insuficiente protección de los *Tuqiang* contra la humedad, sumada al clima húmedo y la erosión natural del sur, los muros de las viviendas de *Hangtu* tienden a desprenderse y agrietarse, lo cual afecta tanto la estructura como la capacidad de carga. Si no se reparan a tiempo, estas viviendas pueden convertirse gradualmente en

edificaciones peligrosas, con una durabilidad y vida útil significativamente menores que las de los edificios de ladrillo y hormigón.

-Mal aspecto: Por el largo periodo sin reparaciones, las viviendas de *Hangtu* suelen conservar sus paredes exteriores de color tierra, que son susceptibles a desprendimiento de polvo, afectando la calidad del aire interior. Bajo los conceptos modernos de vivienda rural, los edificios de tierra se perciben como un símbolo de pobreza y atraso, por lo que muchos aldeanos desean renovar o convertir sus casas en estructuras de ladrillo.

-Cambio en los conceptos modernos de vivienda: Con el desarrollo económico y la mejora en el nivel de vida, los aldeanos tienden a preferir viviendas modernas y de aspecto luminoso, abandonando gradualmente los *Tulou*. No obstante, los *Tulou* aún ofrecen ventajas, como calidez en invierno y frescura en verano, y las viviendas de *Hangtu* restauradas pueden seguir siendo atractivas cuando se valoran su apariencia y características ecológicas.

-Declive debido a la emigración de la mano de obra: Con un gran número de trabajadores rurales que migran a las ciudades, falta mano de obra para apoyar la reparación y construcción de viviendas de *Hangtu*, y no hay personas dispuestas a aprender el oficio tradicional de “hacer *Tuqiang*”, lo cual acelera el declive de estas edificaciones.

-Protección ecoambiental de los hakka *Tulou*: Este estudio subraya la importancia de preservar el entorno ecológico externo de la zona en que se asientan los *Tulou*, dado que estos entornos son fundamentales para la identidad regional de los *Tulou*. En el pasado, se ha puesto un fuerte énfasis en los elementos arquitectónicos de los *Tulou*, mientras que la protección del entorno ecológico circundante ha sido desatendida. En primer lugar, debería delimitarse el alcance de la protección, con un enfoque en la preservación del paisaje ecológico circundante junto con la estructura del *Tulou*. Los métodos específicos incluyen la protección y restauración del sistema histórico, el trazado original de las carreteras y los ecosistemas autóctonos en los que se encuentran los conjuntos de *Tulou*, a fin de mantener la jerarquía del paisaje natural y la integridad del paisaje en su conjunto.

16. Conclusiones

Se necesita incrementar el apoyo de los gobiernos, así como de la industria de la construcción y de las organizaciones relacionadas, para identificar los factores desencadenantes, impulsores, barreras y causas que afectan el desarrollo de la arquitectura de tierra, con el fin de acelerar su ritmo de progreso, especialmente en un contexto de avance lento. Además, es necesario prestar mayor atención a los clientes, arquitectos e ingenieros como principales factores desencadenantes, promoviendo programas educativos a través de diversos medios, como seminarios, talleres, conferencias, publicaciones, programas de televisión y títulos especializados en arquitectura de tierra, para incrementar la concienciación.

Las partes interesadas en *Tulou* se dividen en tres categorías principales. La primera comprende a los propietarios y herederos de las casas antiguas (como agricultores de primera generación e hijos que han permanecido en el lugar), quienes desean preservar estas construcciones. La segunda categoría incluye a los usuarios de la propiedad (como turistas, artistas, comerciantes o promotores), que participan en el desarrollo de *Tulou* mediante intercambios de derechos de propiedad o inversiones. La tercera categoría está compuesta por aquellos que no poseen derechos de propiedad (como gestores extranjeros, académicos, turistas, etc.). Para activar eficazmente la comunidad de *Tulou*, se recomienda retener al primer grupo de personas y atraer al segundo y al tercero mediante dos estrategias: en primer lugar, fomentar el regreso de los habitantes originales creando un espacio central que aumente la vitalidad del pueblo; en segundo lugar, renovar parcial o totalmente el pueblo para incluir espacios públicos, como una librería-café o un museo vernáculo, con el fin de atraer a más habitantes externos. Independientemente del enfoque adoptado, este debe implementarse por fases, siguiendo un orden espacial y temporal, para lograr un desarrollo dinámico y continuo del pueblo, transformando a los “fugitivos” y “espectadores” en participantes activos en la comunidad.

Se presta más atención a los costes de mantenimiento, los costes de los materiales, los costes de construcción y los costes de reciclaje de los *Tulou* y de la construcción con tierra

cruda, que son inferiores a los de otros materiales de construcción en la práctica; la arcilla y la arena son los principales materiales utilizados en la construcción con tierra, y es necesario prestar más atención a la sostenibilidad de los materiales de tierra , y es necesario prestar más atención a las ventajas de los materiales de tierra, como una menor contaminación, unos residuos mínimos, un impacto mínimo en el emplazamiento, y su y su importancia en el entorno construido. Debería crearse un fondo de patrimonio a largo plazo para prestar apoyo financiero a los proyectos de movimiento de tierras que deban autofinanciarse, reduciendo así la carga financiera del Gobierno. Debería fomentarse la participación pública en el proceso de planificación y diseño de los proyectos de reutilización y reurbanización de *Tulou*, y debería recabarse la opinión de la comunidad a través de una comunicación ascendente para garantizar el impacto positivo de los proyectos en la comunidad local. Los esfuerzos de conservación no deben centrarse sólo en la arquitectura física de los *Tulou*, sino también en los elementos culturales intangibles de los *Tulou* y en la preservación de los habitantes indígenas y su modo de vida tradicional, para realzar el valor cultural y las características locales de los *Tulou*.

El *Hangtu* es la técnica de construcción más adecuada para la arquitectura de tierra y los *Tulou*. La arquitectura de tierra puede aplicarse en diversos contextos, como en ciudades, almacenamiento de agua, mejora del suelo, excavación, plataformas, terrazas, muros de contención y en la conformación de colinas y montículos. Los materiales de tierra y los *Tulou* son apropiados para todos los climas; sin embargo, el papel del suelo en cada clima es fundamental, y debe prestarse especial atención a la satisfacción del usuario, la reducción de riesgos para la salud y la mejora de la calidad del aire interior en construcciones de tierra y *Tulou*. Los *Tulou* pueden erigirse en una variedad de estilos, pero los expertos recomiendan emplear una arquitectura vernácula o casi vernácula.

17. Referencias

- [1] 江文野. (2002). 民国版《永定县志》编修概况. *闽西史志*, (3), 45-47.

Jiang, W. (2002). Descripción general de la compilación y edición de la edición de la República de China de "Serie Crónicas antiguas de Fujian: Condado de Yongdin". *Registros históricos del oeste de Fujian*, (3), 45-47.

- [2] 张昱煜. (2017). 永定土楼. *中国地名*.

Zhang, Y. (2017). Yongding Tulou. *Nombres de lugares chinos*.

- [3] 方外志.清乾隆二十七年刻本. 乾隆. 海澄县志.

Fang, W. *Crónicas del condado de Qianlong*.

- [4] 黄汉民. (2003). 福建土楼: 中国传统民居的瑰宝.

Huang, H. (2003). *Tulou de Fujian: tesoros de las viviendas tradicionales chinas*.

- [5] 黄露. (2015). 《虔台志》考述. *福建图书馆理论与实践*, (1), 46-47.

Huang, L. (2015) Una reseña textual de "Qian Tai Zhi". *Teoría y práctica de la biblioteca de Fujian*, (1), 46-47.

- [6] 何乔远. (1995). *闽书*. 福建人民出版社.

He, Q. (1995). *Libro de Min*. Editorial del Pueblo de Fujian.

- [7] 顾炎武. (2015). *天下郡國利病書*. 中华书局. (初版发表于 1594 年)

Gu, Y. (2015). *Tianxia Junguo Libingshu: Libro de las ventajas y desventajas de los condados y estados del imperio* (Reimpresión). Zhonghua Shuju. (Trabajo original publicado en 1594).

- [8] 刘晓迎. (2014). *永安小陶土堡群*. 海潮摄影艺术出版社

Liu, X. (2014). *Grupo del pequeño castillo de arcilla de Yongan*. Editorial de arte fotográfico

Haichao.

- [9] 翦伯赞. (2007) *中国史纲要*. 下册. 北京大学出版社

Jian, B. (2007). *Esquema de la historia china* (Vol. 2). Prensa de la Universidad de Pekín.

- [10] 顾炎武. (2015). *天下郡國利病書*. 中华书局. (初版发表于 1594 年)

Gu, Y. (2015). *Tianxia Junguo Libingshu: Libro de las ventajas y desventajas de los condados y estados del imperio* (Reimpresión). Zhonghua Shuju. (Trabajo original publicado en 1594).

- [11] 刘晓迎. (2009) .论“福建土楼之母”——石壁土堡的渊源与演变。三明市博物馆。

Liu. X. (2009, septiembre). *Sobre el origen y la evolución de los «La madre de Tulou de Fujian»: El origen y evolución del Tubao Shibi*. Museo de la Ciudad de Sanming.
<http://www.smsbwg.cn/xueshuyanjiu/wenlunjijin/129.html>

- [12] 程爱勤. (2002). 论“风水学说”对客家土楼的影响. *广西民族学院学报: 哲学社会科学版*, 24(3), 76-82.

Cheng, A. (2002). Sobre la influencia de la "teoría del *Feng shui*" en los hakka *Tulou*. *Revista de Nacionalidades de la Universidad de Guangxi: Edición de Filosofía y Ciencias Sociales*. 24(3), 76-82.

- [13] 熊海群&张怀珠. (2007) . 闽西客家土楼民居中风水因素的探究. *小城镇建设*

Xiong, H. & Zhang, H. (2007). Investigación sobre los factores *Fengshui* de los hakka *Tulou* en el oeste de Fujian. *Construcción de una pequeña ciudad*.

- [14] 郭璞. (2020). *葬書*. 中华书局. (初版发表于公元四世纪) .

Guo, P. (2020). *Zang Shu: El libro de los entierros* (Reimpresión). Zhonghua Shuju. (Trabajo original publicado en el siglo IV).

- [15] 孔子, 周文王等. (2012) *《易经》*. 中华书局. (初版发表于公元前 9 世纪)

Confucius (Trad.). (2012). *Yijing: Libro de los cambios* (Reimpresión). Zhonghua Shuju. (Trabajo original publicado en el siglo IX a. C.).

- [16] 彭兆荣&吴兴帜. (2008). 客家土楼: 家园遗产的表述范式. *贵州民族研究*, 28, 51-57

Peng, Z., & Wu, X. (2008). Los edificios de tierra de los hakka como paradigma expresivo del patrimonio nacional. *Guizhou Ethnic Studies*, 28, 51-57

- [17] 黄世杰. (2002). 既是学术的 又是大众的——读《雪球: 汉民族的人类学分析》有感. *百色学院学报*, (2), 90-92.

Huang, S. (2002). Tanto académico como popular - Reflexiones sobre la lectura "Bola de nieve: un análisis antropológico de la nacionalidad Han". *Revista de la Universidad de Baise*, (2), 90-92.

- [18] 程爱勤. (2002). 论“风水学说”对客家土楼的影响. *广西民族学院学报: 哲学社会科学版*, 24(3), 76-82.

Cheng, A. (2002). Sobre la influencia de la "teoría del *Feng shui*" en los hakka *Tulou*. *Revista de Nacionalidades de la Universidad de Guangxi: Edición de Filosofía y Ciencias Sociales*. 24(3), 76-82.

- [19] 无园. (1979). 午门和五凤楼小识. *故宫博物院院刊*, (4), 83-83. https://www.dpm.org.cn/Uploads/pdf/1538/T00083_00.pdf

Wu, Y. (1979). Una breve introducción a Meridian Gate y Wufeng Tower. *Revista del Museo del Palacio*, (4), 83-83. Recuperado a partir de https://www.dpm.org.cn/Uploads/pdf/1538/T00083_00.pdf

- [20] 刘禹冰. (2021). 浅谈客家土楼的建筑特色及文化内涵. *文化产业*.

Liu, Y. (2021). Una breve discusión sobre las características arquitectónicas y las connotaciones culturales de los hakka *Tulou*. *Industria cultural*.

- [21] Fang, S., Meng, C., Zhang, K., Hu, W., & Liu, X. (2022). New insight into the craftsmanship of sucrose-modified rammed earth-lime materials. *Journal of Asian Architecture and Building Engineering*, 21(3), 1019-1028.
- [22] 裴强强, 郭青林, 王旭东, 赵建忠, 赵国靖, & 骆婧. (2019). 土质建筑遗址传统营造技法的演化与特征探析. *文物保护与考古科学*, 31(5), 1-13.
- Pei, Q., Guo, Q., Wang, X., Zhao, G., & Luo, J. (2019). Análisis sobre la evolución y características de las técnicas constructivas tradicionales de conjuntos arquitectónicos en tierra. *Protección de reliquias culturales y ciencia arqueológica*. 31(5), 1-13.
- [23] Zhang, C., Zhang, B., Cui, B., & Lu, Y. (2023). Variables that contribute to tabia's high mechanical strength—A study using traditional residential flooring tabia from Zhejiang, China. *Journal of Building Engineering*, 76, 107-202.
- [24] 王在晋. (1983). 海防纂要. 中华出版社. (初始版本发表于 1661 年)
- Wang, Z. (1983). *Hai Fang Zuan Yao: Compilación esencial de la defensa costera*. Editorial Zhonghua. (Trabajo original publicado en 1661).
- [25] Shao, M., Liang, X., Wang, Y., Wang, Z., & Li, L. (2023). An overview of some traditional materials used in linear fortification structures in coastal regions of China: implications for their analytical study and conservation. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 82(12), 464.
- [26] Zhang, C., Zhang, B., Cui, B., & Lin, G. (2020). What factors contribute to high mechanical strength of tabia? Case study of the tabia from coastal forts sites at Zhejiang, China. *Heritage Science*, 8, 1-15.
- [27] 宋应星. (2010). 天工开物. 中华书局. (初版发表于 1637 年)
- Song, Y. (2010). *Tiangong Kaiwu: Explotación de los trabajos de la naturaleza* (Reimpresión). Zhonghua Shuju. (Trabajo original publicado en 1637).

[28] 杨孚. (2021). *异物志*. 广东省出版集团. (初版发表于公元三世纪)

Yang, F. (2021). *Yiwuzhi: El registro de las maravillas*. Grupo editorial de Guangdong. (Trabajo original publicado en el siglo III)

[29] Fang, S., Zhang, K., Zhang, H., & Zhang, B. (2015). A study of traditional blood lime mortar for restoration of ancient buildings. *Cement and Concrete Research*, 76, 232-241.

[30] 曹春平. (2001). 客家土楼的夯筑技术. *建筑史论文集*, 14(00), 134-139.

Cao, C. (2001). Tecnología de apisonamiento de hakka *Tulou*. *Actas de historia arquitectónica*, 14 (00), 134-139.

[31] 清工部. (1734). *工程做法*. 中华书局

Departamento de Ingeniería de la Dinastía Qing. (1734). *Gongcheng Zuofa: Prácticas de ingeniería*. Zhonghua Shuju

[32] 王璞子. (1983). 清工部颁布的《工程做法》. *故宫博物院院刊*, 1.

Wang, P. (1983). "Práctica de ingeniería" promulgada por el Ministerio de Obras de la Dinastía Qing. *Revista del Museo del Palacio*, 1.

[33] 杨富巍, 张秉坚, 潘昌初, 曾余瑶. (2007). 以糯米灰浆为代表的传统灰浆. *中国科学*

Yang, F., Zhang, B., Pan, C., & Zeng, Y. (2007). Mortero tradicional representado por mortero de arroz glutinoso. *Ciencia china*.

[34] Zhang, K., Fang, S. Q., & Zhang, B. J. (2015). The application history and scientificity of traditional Chinese egg white mortar. *Scientia Sinica Technologica*, 6, 635-642.

[35] 刘敦楨 (Ed.). (1984). *中国古代建筑史*. 中国建筑工业出版社.

Liu, D. (Ed.). (1984). *Historia de la arquitectura china antigua*. Prensa de la industria de la construcción de China.

- [36] 戴志坚. (2012). 福建土堡与福建土楼建筑形态之辨异. *中国名城*, 4.
- Dai, Z. (2012). Diferencias en las formas arquitectónicas de los fuertes de tierra de Fujian y los *Tulou* de Fujian. *Ciudades chinas famosas*, 4.
- [37] Comité de Gestión del Área Escénica de Sanming. (2018). *Tubao Anzhen de Yongan*. Gobierno Popular Municipal de Sanming Yongan
- [38] Ahmad, A., & Mourya, R. (2020). Testing and analysis of spherical and aerodynamic helmet in open circuit low speed wind tunnel. *International Journal of Engineering Research and Technology*, 9(1), Article 10168. <https://doi.org/10.17577/IJERTV9IS010168>
- [39] Ban, G. (1900). *Biografías de Gu Yong, Du y Zheng*. BEIJING BOOK CO. INC. (去掉序号, 这个是翻译)
- [40] 陈李波, 曹功, & 徐宇甦. (2017). 建筑考古学视角下的湖北大悟八字沟民居保护研究. *华中建筑*, 35(5), 107-112.
- Chen, L., Cao, G., & Xu, Y. (2017). Investigación sobre la conservación de edificios residenciales Bazigou en Dawu, Hubei desde la perspectiva de la arqueología arquitectónica. *Arquitectura de China Central*, 35 (5), 107-112.
- [41] 王舒祺. (2016). 闽西客家土楼建筑语言下的美学解读. *美与时代: 城市*, (12), 11-12.
- Wang, S. (2016).
- Interpretación estética bajo el lenguaje arquitectónico de los hakka *Tulou* en el oeste de Fujian. *Belleza y tiempos: Ciudad*, (12), 11-12.
- [42] 张勇, 卢燕来, & 张秀珩. (2006). 浅析福建客家土楼建筑特点. *山西建筑*, 32(4), 33-34.
- Zhang, Y., Lu, Y., & Zhang, X. (2006). Un breve análisis de las características arquitectónicas de los hakka *Tulou* Fujian. *Arquitectura Shanxi*, 32 (4), 33-34.
- [43] 李诫. (1103). *营造法式*. 中华书局.

Li, J. (1103). *Yingzao Fashi: Métodos y métodos de construcción de arquitectura*. Zhonghua Shuju.

[44] 戴志坚. (1996). 福建客家土楼形态探索. *华中建筑*, 14(4), 98-103.

Dai, Z. (1996). Exploración de la forma de los hakka *Tulou* de Fujian . *Arquitectura de China central*, 14 (4), 98-103.

[45] 朴之原. (2019) . *正在消逝的夯土墙建筑施工工艺*. 郑州朴之原实业有限公司. <https://www.puzhiyuan.net/hyzx/113.html>

Pu, Z. (2019, 16 marzo). *La tecnología de construcción de Tuqiang en desaparición*. Zhengzhou Puzhiyuan Industrial Co., Ltd. <https://www.puzhiyuan.net/hyzx/113.html>

[46] Kasinikota, P., & Tripura, D. D. (2022). Prediction of physical-mechanical properties of hollow interlocking compressed unstabilized and stabilized earth blocks at different moisture conditions using ultrasonic pulse velocity. *Journal of Building Engineering*, 48.

[47] Luo, Y., Yang, M., Ni, P., Peng, X., & Yuan, X. (2020). Degradation of rammed earth under wind-driven rain: The case of Fujian *Tulou*, China. *Construction and Building Materials*.

[48] Gambilongo, L., Barontini, A., Silva, R. A., & Lourenço, P. B. (2023). Evaluation of non-destructive techniques for mechanical characterisation of earth-based mortars in masonry joints. *Construction and Building Materials*.

[49] Rodríguez-Mariscal, J. D., Canivell, J., & Solís, M. (2021). Evaluating the performance of sonic and ultrasonic tests for the inspection of rammed earth constructions. *Construction and building materials*.

[50] Zhou, T., Zhang, H., Li, B., Zhang, L., & Tan, W. (2023). Evaluation of compressive strength of cement-stabilized rammed earth wall by ultrasonic-rebound combined method. *Journal of Building Engineering*, 68.

[51] Luo, Y., Yin, B., Peng, X., Xu, Y., & Zhang, L. (2019). Wind-rain erosion of Fujian hakka

Tulou earth buildings. *Sustainable Cities and Society*, 50, 101-666.

- [52] Reardon, C., Milne, G., McGee, C., & Downton, P. (2010). Your home technical manual. *Australian Government Department of Climate Change and Energy Efficiency*.
- [53] Torres-González, M., Rubio-Bellido, C., Bienvenido-Huertas, D., Alducin-Ochoa, J. M., & Flores-Alés, V. (2022). Long-term environmental monitoring for preventive conservation of external historical plasterworks. *Journal of building engineering*, 47.
- [54] García-Diego, F. J., & Zarzo, M. (2010). Microclimate monitoring by multivariate statistical control: The renaissance frescoes of the Cathedral of Valencia (Spain). *Journal of cultural heritage*, 11(3), 339-344.
- [55] Munoz, P., Dominguez, D., Sánchez-Vázquez, R., Letelier, V., & Gencel, O. (2023). Building decarbonization by means of ancient techniques. Assessment of environmental impact, energy performance and mechanical safety. *Journal of Building Engineering*, 74.
- [56] Sranislawski, D. (2011). Structural responses and finite element modeling of hakka *Tulou* rammed earth structures. West Virginia University.
- [57] Luo, Y., Zhong, H., Ding, N., Ni, P., Xu, Y., Peng, X., & Easa, S. M. (2021). Bond-slip mechanism of rammed earth-timber joints in Chinese hakka *Tulou* buildings. *Journal of Structural Engineering*, 147(5).
- [58] Luo, Y., Zhou, P., Ma, H., Ni, P., Ding, N., & Xu, Y. (2021). Energy dissipation of rammed earth-timber joints under cyclic loading. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*.
- [59] Silva, R. A., Oliveira, D. V., Schueremans, L., Miranda, T., & Machado, J. (2016). Effectiveness of the repair of unstabilised rammed earth with injection of mud grouts. *Construction and Building Materials*, 127, 861-871.
- [60] 阿肯江·托呼提, & 王墩. (2008). 生土坯建筑抗震加固研究综述. *新疆大学学报: 自然科学版*, 25(2), 142-149.

Tuohuti, A. & Wang, D. (2008). Una revisión de la investigación sobre el refuerzo sísmico de edificios de adobe en bruto. *Journal of Xinjiang University: Natural Science Edition*, 25(2), 142-149.

- [61] 许丽萍, & 马全明. (2007). 夯土墙在新的乡土生态建筑中的应用——浙江安吉生态屋夯土墙营造方法解析. *四川建筑科学研究*, 33(6), 214-217.

Xu, L. & Ma, M. (2007). La aplicación de *Tuqiang* en nuevos edificios ecológicos vernáculos: un análisis de los métodos de construcción de *Tuqiang* para casas ecológicas en Anji, Zhejiang. *Investigación sobre ciencias de la construcción de Sichuan*, 33(6), 214-217.

- [62] Frangedaki, E., Gao, X., Lagaros, N. D., Briseghella, B., Marano, G. C., Sargentis, G. F., & Meimaroglou, N. (2020). Fujian *Tulou* rammed earth structures: Optimizing restoration techniques through participatory design and collective practices. *Procedia Manufacturing*, 44, 92-99.

- [63] 曾伟龙. (2019). *微生物对缺陷土楼的补强加固的试验研究*. 华侨大学

Zeng, W. (2019). *Estudio experimental sobre el refuerzo y refuerzo de construcciones de tierra defectuosa mediante microorganismos*. Universidad de Huaqiao

- [64] Shrestha, K. C., Aoki, T., Miyamoto, M., Wangmo, P., Zhang, J., & Takahashi, N. (2020). Strengthening of rammed earth structures with simple interventions. *Journal of Building Engineering*, 29, 101-179.

- [65] Ku ChiaoYun, K. C., Chang HuiTing, C. H., & Chang ShangTzen, C. S. (2006). *Improvement of decay resistance of wood by chemical modification*.

- [66] Tsuomis, G. (1991). *Science and technology of wood*.

- [67] MARTÍNEZ ROJAS, I. S. A. A. C., & VIGNOTE PEÑA, S. A. N. T. I. A. G. O. (2006). *Tecnología de la madera*. Ediciones Mundi-Prensa.

- [68] Luppichini, P., & Ripa, R. *COLEÓPTEROS QUE DAÑAN LAS MADERAS EN CHILE*.

- [69] Niroumand, H., Zain, M. F. M., & Jamil, M. (2013). A guideline for assessing of critical parameters on Earth architecture and Earth buildings as a sustainable architecture in various countries. *Renewable and sustainable energy reviews*, 28, 130-165.

18. Bibliografía

- Alfieri, P. V., & Correa, M. V. (2017). Fungi observation in deteriorated wooden heritage: Analysis using different imaging techniques. *Revista Argentina de microbiologia*, 49(1), 120-122.
- Comité editorial de Materiales de aprendizaje para profesionales de ingeniería de protección de reliquias culturales (2020). *"Materiales de aprendizaje para profesionales de ingeniería de protección de reliquias culturales" - Sitios culturales antiguos y tumbas antiguas.*
- 文物保护工程专业人员学习资料编委会. (2020) . 《文物保护工程专业人员学习资料》-古文化遗址古墓葬
- Delgado, M. C. J., & Guerrero, I. C. (2006). Earth building in Spain. *Construction and building materials*, 20(9), 679-690.
- Faggiano, B., Marzo, A., Formisano, A., & Mazzolani, F. M. (2009). Innovative steel connections for the retrofit of timber floors in ancient buildings: a numerical investigation. *Computers & structures*, 87(1-2), 1-13.
- Frangedaki, E., Gao, X., Lagaros, N. D., Briseghella, B., Marano, G. C., Sargentis, G. F., & Meimaroglou, N. (2020). Fujian *Tulou* rammed earth structures: Optimizing restoration techniques through participatory design and collective practices. *Procedia Manufacturing*, 44, 92-99.
- Han, Y., Chun, Q., Xu, X., Teng, Q., Dong, Y., & Lin, Y. (2022). Wind effects on Chinese traditional timber buildings in complex terrain: The case of Baoguo Temple. *Journal of Building Engineering*, 59, 105088.
- Hong, J. (2018). Tecnología de apisonamiento de hakka *Tulou*. *Jardín de ciencia popular*.

- 鸿渐. (2018). 客家土楼夯筑技术. *科普园地*
- Hua, L., Chen, C., Fang, H., & Wang, X. (2018). 3D documentation on Chinese Hakka Tulou and Internet-based virtual experience for cultural tourism: A case study of Yongding County, Fujian. *Journal of Cultural Heritage*, 29, 173-179.
- Huang, S. (2002). Tanto académico como popular - Reflexiones sobre la lectura "Bola de nieve: un análisis antropológico de la nacionalidad Han". *Revista de la Universidad de Baise*, (2), 90-92.
- 黄世杰. (2002). 既是学术的 又是大众的——读《雪球: 汉民族的人类学分析》有感. *百色学院学报*, (2), 90-92.
- Huang, Z. (1991). *Serie Crónicas antiguas de Fujian: Ocho distritos administrativos*.
黄仲昭. (1991). *八闽通志*.
- Izaguirre, A., Lanás, J., & Alvarez, J. I. (2009). Effect of water-repellent admixtures on the behaviour of aerial lime-based mortars. *Cement and concrete research*, 39(11), 1095-1104.
- Jian, B. (2007). *Esquema de la historia china* (Vol. 2). Prensa de la Universidad de Pekín.
- 翦伯赞. (2007) *中国史纲要*. 下册. 北京大学出版社
- Lin, J. (2006). *Earth Building: música sólida y poesía tridimensional*. Editorial del Pueblo de Shanghai.
- 林嘉书. (2006). *土楼: 凝固的音乐和立体的诗篇*. 上海人民出版社.
- Liu, H., Xiao, P., Xiao, Y., & Chu, J. (2019). Nuevos avances en la tecnología geotécnica microbiana y su investigación de aplicaciones. *Revista de Ingeniería Civil y Ambiental*, 41(1), 1-14.

- 刘汉龙, 肖鹏, 肖杨, & 楚剑. (2019). 微生物岩土技术及其应用研究新进展. *土木与环境工程学报*, 41(1), 1-14.
- Liu, J. Y. S. (2012). Circular economy and environmental efficiency—the case of traditional Hakka Living system. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 57, 255-260.
- Liu. X. (2014). Grupo del pequeño castillo de arcilla de Yongan. Editorial de arte fotográfico Haichao.
- 刘晓迎. (2014) . 永安小陶土堡群.海潮摄影艺术出版社
- Luo, Y., Yin, B., Peng, X., Xu, Y., & Zhang, L. (2019). Wind-rain erosion of Fujian Tulou Hakka earth buildings. *Sustainable Cities and Society*, 50, 101666.
- Luo, Y., Zhong, H., Bao, F., Guo, Z., & Ni, P. (2022). Insights into natural and carbonation curing of ancient Chinese rammed earth mixed with brown sugar. *Construction and Building Materials*, 317, 125969.
- Ma, H., Li, S., & Chan, C. S. (2018). Analytic Hierarchy Process (AHP)-based assessment of the value of non-World Heritage *Tulou*: A case study of Pinghe County, Fujian Province. *Tourism Management Perspectives*, 26, 67-77.
- Ma, J. & Zuo, x. (2012). Investigación sobre los patrones de asentamiento tradicionales hakka y las connotaciones culturales. *Planificación urbana de Shanghai*, (3), 49-54.
- 马继武, & 左小艳. (2012). 客家传统聚居形态及文化内涵研究. *上海城市规划*, (3), 49-54.
- Mazzeo, R., Cam, D., Chiavari, G., Fabbri, D., Ling, H., & Prati, S. (2004). Analytical study of traditional decorative materials and techniques used in Ming Dynasty wooden architecture. The case of the Drum Tower in Xi'an, PR of China. *Journal*

of Cultural Heritage, 5(3), 273-283.

Munoz, P., Dominguez, D., Sánchez-Vázquez, R., Letelier, V., & Gencel, O. (2023). Building decarbonization by means of ancient techniques. Assessment of environmental impact, energy performance and mechanical safety. *Journal of Building Engineering*, 74, 106896.

Nilsson, T., & Rowell, R. (2012). Historical wood–structure and properties. *Journal of Cultural Heritage*, 13(3), S5-S9.

Pan, L., Wei, H., Liao, Y., & Lei, B. (2018). El futuro de los asentamientos de *Hangtu*, tomando como ejemplo el Concurso Internacional de Diseño Arquitectónico de *Hangtu* de Guangxi Shanglin Gumingzhai. *Nuevo edificio*

潘浏, 魏宏杨, 廖宇航, & 雷斌. (2018). 夯土聚落的未来——以广西上林鼓鸣寨国际夯土建筑设计竞赛为例. *新建筑*.

Peng, Z., & Wu, X. (2008). Los edificios de tierra de los hakka como paradigma expresivo del patrimonio nacional. *Guizhou Ethnic Studies*, 28, 51-57

彭兆荣&吴兴帜. (2008). 客家土楼：家园遗产的表述范式. *贵州民族研究*, 28, 51-57

Qiao, Z. H., Jiang, S. F., Tang, W. J., & Li, N. L. (2021). Dual-indicator prediction model for the safety of Chinese ancient wooden structures subjected to bioerosion. *Journal of Building Engineering*, 43, 102868.

Shi, J., Chun, Q., Feng, S., Liu, C., Liu, Z., Wang, D., & Zhang, Y. (2023). Pore structure and fractal dimension analysis of ancient city wall bricks in China. *Journal of Building Engineering*, 76, 107324.

Shi, Y. (2023). Literal translation extraction and free translation change design of Leizhou ancient residential buildings based on artificial intelligence and Internet of

- Things. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 56, 103092.
- Shi, Y. (2023). Literal translation extraction and free translation change design of Leizhou ancient residential buildings based on artificial intelligence and Internet of Things. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 56, 103092.
- Švajlenka, J., & Pošiváková, T. (2023). Innovation potential of wood constructions in the context of sustainability and efficiency of the construction industry. *Journal of Cleaner Production*, 411, 137209.
- Van Dijken, J. W., & Pallesen, U. (2016). Posterior bulk-filled resin composite restorations: A 5-year randomized controlled clinical study. *Journal of dentistry*, 51, 29-35.
- Voyron, S., Tonon, C., Guglielmone, L., Celi, L., Comina, C., Ikeda, H., ... & Bonifacio, E. (2022). Diversity and structure of soil fungal communities unveil the building history of a burial mound of ancient Japan (Tobiotsuka Kofun, Okayama Prefecture). *Journal of Archaeological Science*, 146, 105656.
- Wallis, R. K. (2012). Modern rammed earth construction in China. In *Modern Earth Buildings* (pp. 688-711). Woodhead Publishing.
- Wang, S., Li, Z., Tian, Y., Li, Y., Zhou, Y., & Li, D. (2024). El pasado, presente y futuro de la tecnología de ingeniería geotécnica microbiana. *Revista de Ingeniería Geológica*, 32(1), 236-264.
- 王双娇, 李志清, 田怡帆, 李燕明, 周应新, & 李丹丹. (2024). 微生物岩土工程技术的过去、现在与未来. *工程地质学报*, 32(1), 236-264.
- Wang, X. & Guo, Z. (2024). Una revisión de la investigación sobre la preservación de los *Tulou* hakka. *Casas tradicionales y arquitectura vernácula*.
- 王雪浪&郭泽坤. (2024). 客家土楼的风貌保护研究综述. *传统民居与乡土建筑*.

Wang, X. (2019). Una breve discusión sobre la tecnología de reparación de *Tuqiang* en edificios tradicionales de Fujian. *Materiales de construcción de Jiangxi*, 8.

王小幸. (2019). 浅谈福建传统建筑夯土墙修复技术. *江西建材*, 8.

Wang, X., Zhang, C., Zhang, B., Hu, Y., Wan, J., & Zhang, J. (2021). Comprehensive test of tabia at the Humen Fort sites in Guangdong, China. *Journal of Cultural Heritage*, 49, 298-304.

Xia, Q., Yi, T., Li, Y., Shen, C., Huang, D., & Sun, Y. (2023). Analysis of Chinese ancient brick masonry characteristics under uniaxial compression fatigue loading. *Construction and Building Materials*, 392, 131874.

Ye, F. (2022). Las Estructuras de Madera en la construcción sostenible.

Zheng, W., Li, B., Cai, J., Li, Y., & Qian, L. (2021). Microclimate characteristics in the famous dwellings: A case study of the Hakka Tulou in Hezhou, China. *Urban Climate*, 37, 100824.

Zhou, Q. & Chen, W. Experiencia en intervención de conservación de edificios monumentales históricos de tapia en España. *Patrimonio arquitectónico*.

周琪&陈薇. (2024). 西班牙夯土类历史古迹建筑的保护干预经验. *建筑遗产*.

19. Anexo

Tabla comparativa de nombres de edificios en chino y español.

燕下都遗址的夯土墙	<i>Tuqiang</i> en el yacimiento de Yan Xiandu
宁夏古长城	Antigua Gran Muralla de Ningxia
承启楼	Edificio Chengqi
永定土楼	Edificio Yongding
双吉土堡	Tubao Shuangji
双兴土堡	Tubao Shuangxing
双元土堡	Tubao Shuangyuan
聚星楼/七星楼	Edificio Juxing/Edificio Qixing
大田县土堡	<i>Tubao</i> de Condado Datian
在田楼	Edificio Zaitian
振成楼	Edificio Zhengcheng
遗经楼	Edificio Yijing
裕德楼	Edificio Yudei
裕昌宫	Edificio Yuchang
承启宫	Edificio Chengqi
安贞堡	Tubao Anzheng
光裕堡	Tubao Guangyu
松庆堡	Tubao Songqing
大福圳土堡	Tubao Dafuzheng
集庆楼	Edificio Jiqing
怀远楼	Edificio Huaiyuan
花萼楼	Edificio Huae
水美楼	Edificio Shuimei
道韵楼	Edificio Daoyun
纳熏楼	Edificio Naxuan
德馨堂	Edificio Dexi

顺源楼	Edificio Shunyuan
五凤楼	Edificio Wufeng
大观楼	Edificio Daguan
振兴楼	Edificio Zhengxing
围屋	Weiwu
二宜楼	Edificio eryl
怀远楼	Edificio Huaiyuan