



Arquitectura en Tierra

Historia y Renovación

XIII CIATTI 2016

Congreso de Arquitectura de Tierra en Cuenca y Villagarcía de Campos 2016.

Coordinadores: Félix Jové Sandoval, José Luis Sáinz Guerra.

ISBN: 978-84-697-4387-4

D.L.: VA 531-2017

Impreso en España

Julio de 2017

Publicación online.

Para citar este artículo:

ORIO PÉREZ, Paula; RODRÍGUEZ VIDAL, Íñigo. "Posibilidades técnicas y formales de la tierra prensada". En: *Arquitectura en tierra. Historia y Renovación. XIII CIATTI. Congreso de arquitectura en tierra en Cuenca y Villagarcía de Campos 2016*. [online]. Valladolid: Cátedra Juan de Villanueva. Universidad de Valladolid. 2016. Pp. 215-224

URL de la publicación: <http://www5.uva.es/grupotierra/publicaciones.html>

Este artículo sólo puede ser utilizado para la investigación, la docencia y para fines privados de estudio. Cualquier reproducción parcial o total, redistribución, reventa, préstamo o concesión de licencias, la oferta sistemática o distribución en cualquier otra forma a cualquier persona está expresamente prohibida sin previa autorización por escrito del autor. El editor no se hace responsable de ninguna pérdida, acciones, demandas, procedimientos, costes o daños cualesquiera, causados o surgidos directa o indirectamente del uso de este material.

This article may be used for research, teaching and private study purposes. Any substantial or systematic reproduction, re-distribution, re-selling, loan or sub-licensing, systematic supply or distribution in any form to anyone is expressly forbidden. The publisher shall not be liable for any loss, actions, claims, proceedings, demand or costs or damages whatsoever or howsoever caused arising directly or indirectly in connection with or arising out of the use of this material.

Copyright © Todos los derechos reservados

© de los textos: sus autores.

© de las imágenes: sus autores o sus referencias.

POSIBILIDADES TÉCNICAS Y FORMALES DE LA TIERRA PRENSADA EN UN PROYECTO CONTEMPORÁNEO. CENTRO CÍVICO EN GRANADILLA

XIII CIATTI 2016. Congreso Internacional de Arquitectura de Tierra, Tradición e Innovación
Valladolid

Paula Orío Pérez, Arquitecta*
Íñigo Rodríguez Vidal, Dr. Arquitecto

Universidad del País Vasco- Euskal Herriko Unibertsitatea.

PALABRAS CLAVE: Cálculo, MOPT, tierra prensada

1. Introducción

En la antigüedad la construcción en tapial fue muy importante, siendo una técnica muy utilizada en la cuenca del mar Mediterráneo y en Latinoamérica; sin embargo en la actualidad su uso es escaso y se ve como una solución pobre y poco valorada. Es nuestra labor cambiar esta idea, haciendo ver que no es un material para dejar en el olvido, la tierra debe tenerse en cuenta como una técnica de construcción actual, y debe ser objeto de investigación para mejorar sus cualidades gracias a los avances tecnológicos.

Aunque las características mecánicas de la tierra la limiten, se observan en ella muchas cualidades como material de construcción. La utilización de este material, incombustible al fuego y de alta resistencia a los impactos, facilita que se puedan reducir emisiones de CO₂ y se recuperen sistemas constructivos, que gestionan los recursos existentes en el medio, disminuyendo los costes de adquisición y transporte. Hablamos pues, de sostenibilidad, de utilización de recursos y de economía.



Figura 1. Axonometría de toda la villa de Granadilla en la que se ve la implantación del proyecto mencionado
Fuente: Japan Society of Civil Engineers –Jsce. (s/f). PFC, Paula Orío Pérez, 2016.

Por norma general, los sistemas constructivos que utilizan tierra aseguran, con una baja carga tecnológica, optimizar los recursos naturales al estar adaptados a la climatología de muchas de las áreas geográficas (sur de Europa, norte de África, Sudamérica...) ya que ayudan a regular el vapor de agua, el calor y favorecen el estado de confort. El tapial tiene diversas ventajas energéticas que favorecen la aplicación de este sistema constructivo en la actualidad, en las arquitecturas contemporáneas:

- Inercia térmica: Tiene capacidad de almacenar energía en su interior para retornarla más tarde, lo que favorece que se use con éxito en diferentes condiciones climáticas.
- Aislamiento acústico: Los muros de tierra no transmiten bien las vibraciones sonoras, convirtiéndose en una barrera contra ruidos indeseados, teniendo propiedades acústicas mucho más favorables que las de muros convencionales.
- Sostenibilidad: Al ser un material natural puede volver a ser reducido a su estado original y depositado en cualquier lugar sin ningún inconveniente, al igual que no generan ningún problema de degradación ambiental ni alteran las condiciones bioclimáticas.

2. Centro cívico en Granadilla

Con todas estas premisas previas, se decide demostrar la positiva aplicación de este sistema en un proyecto actual. En este caso, en el proyecto de fin de carrera “Centro cívico en Granadilla”.

La elección de la construcción con tapial tiene otro valor añadido en relación directa con el proyecto que se desarrolla, como es el seguir con la tradición constructiva de muchos pueblos extremeños, rescatando esta técnica para la villa de Granadilla. También se ha tenido en cuenta para la elección de este material el que las labores de recuperación de los pueblos se hacen en gran parte gracias a voluntarios y talleres escolares y la construcción en dicho material no presenta una exigencia técnica tan elevada como la de otros, ya que con un curso de construcción con tapia de un mes cualquiera podría colaborar en la construcción.

Otro de los motivos, esta vez estético, para la elección de este material es el cromatismo del pueblo, ya que todo está envuelto en tonos tierra. Sobre todo la iglesia con la que forman plaza los edificios del proyecto, lo que da homogeneidad y continuidad al conjunto.

TABLA DE IDENTIFICACIÓN DE SUELOS PARA PAREDES DE TIERRA

Clasificación del suelo completo por separación, sedimentación o tamización

I		II		III	IV	V	VI	VII	CÓDIGO DE SUELO
CLASIFICACIÓN VISUAL	TIPO	MEZCLA	CLASIFICACIÓN SEDIMENTACIÓN	PALMETEO	RESISTENCIA	CINTA	ROLLITO	LAVADO	
ARCILLAS Y LIMOS (El montón de limo y arcilla mayor que los de arena y grava juntos)	GRASAS		C	3	3_4	2	3	1	I
		NORMALES	C						
		ARCILLAS	LIMOS						
			C+M						
			C+S	2_3	2_3	1_2	2	1	II
			C+G						
	LIMOS	ORGANICAS	Co	1_3	0_3	0_1	1_2	0_1	III
		ORGANICOS	Mo						
		PUROS	M	1_3	0_2	1	1_2	0	IV
			M+C						
		MUY FINAS	Smf	0_1	0_1	0_1	0_1	0	V
		ARCILLAS FINAS	Sf+C						
			Sf+M						
			S+C						
		ARCILLAS	G+C	1_2	2	1_2	2	1	VI
ARENAS O GRAVAS (El montón de arena mayor que el de grava o viceversa)			G+S+C						
			S+M						
		LIMOS	G+M	0	0_1	0	0	0	VII
	ARENAS O GRAVAS		G+S+M						
		PURAS	S		No precisan de estos ensayos				VIII
			G						

Tabla 1. Tabla clasificatoria de suelos y los resultados según los ensayos. MOPT, Ministerio de obras Públicas-Tapia. Fuente: MOPT, Gonzalo Bauluz del Rio, Pilar Bárcena Barrios.

2.1 Ubicación

El conjunto de edificios desarrollados se localiza en Granadilla, villa abandonada en el norte de la provincia de Cáceres, situada en una pequeña península que se adentra en las aguas del embalse de Gabriel y Galán. Es una de las escasas poblaciones totalmente amuralladas que quedan en España y la única que, como hace siglos, cierra sus puertas a una hora determinada. Sus murallas, de pizarra y pedernal, están muy bien conservadas y permiten dar la vuelta completa a la villa caminando por encima de ellas. Desde allí, el paisaje es espectacular, tanto del pueblo abandonado como del embalse que lo rodea. Fue declarado conjunto Histórico-Artístico y está integrada en el Convenio de Recuperación de Pueblos Abandonados.

2.2 Explicación del proyecto

Se plantea un programa para el proyecto que cubra las necesidades de todos aquellos que visitan la villa tras su abandono (estudiantes del programa de recuperación, antiguos habitantes, caminantes de la vía de la plata, visitas culturales...)

Para la implantación del proyecto dentro del conjunto del pueblo se parte de varias premisas; primero se piensa en continuar con la calle principal y su pavimento que va desde la entrada hasta la plaza mayor y se continuará, entonces, hasta la plaza de la iglesia que es el nexo con los edificios del proyecto.

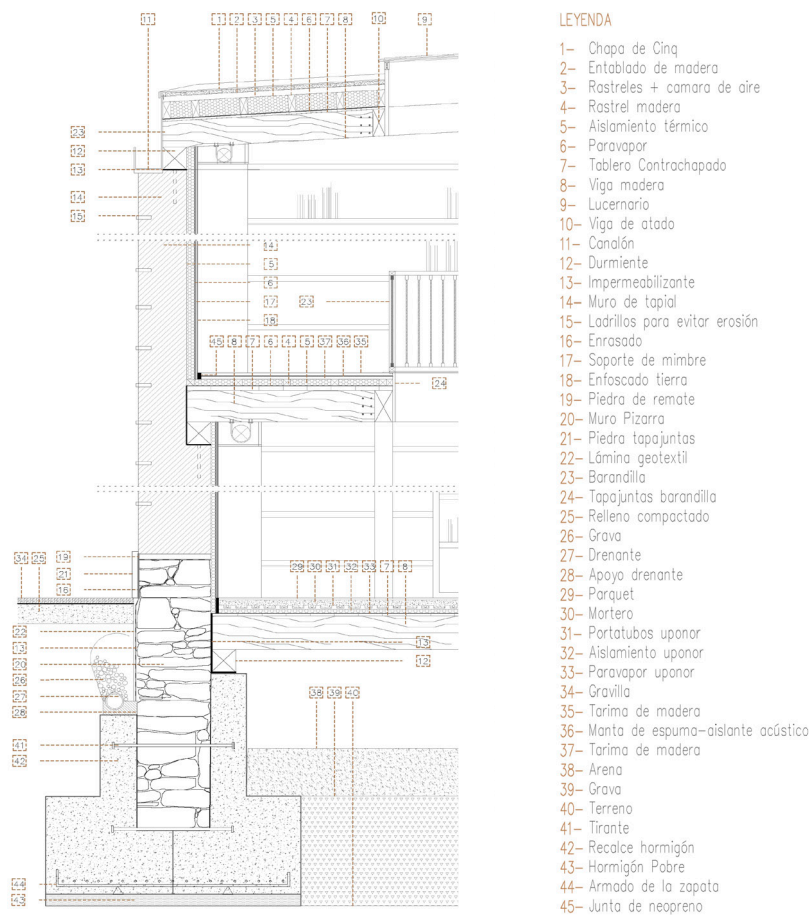


Figura 2. Sección constructiva centro cívico en Granadilla edificio administrativo. Fuente: PFC, Paula Orío Pérez, 2016.

Por ello, trabajaremos en la plaza de la iglesia para que tenga una interrelación con la plaza mayor. En cuanto a la morfología de las edificaciones, se intenta construir y diseñar este proyecto de nueva planta a partir de la interpretación de alguna de las ruinas y de su antiguo trazado.

Para ello se conservará el perímetro de las parcelas construidas con muros de pizarra que se regularizarán hasta una altura de 3 metros, sobre los se construirá con la técnica del tapial. Por otro lado, se partirá del antiguo trazado para crear las formas de los edificios y así poder relacionarlos entre sí. Siguiendo con estos principios se dará este sentido de unidad al conjunto.

Dentro del proyecto se conservarán los pocos elementos que se mantienen en pie y tienen cierta importancia arquitectónica, por un lado se mantendrá una de las fachadas

convirtiéndola en patio, el arco que hay en la calle principal y por último se convierten las ruinas de uno de los edificios más importantes de la antigua Granadilla donde se cobraban los impuestos, convirtiéndolo en edificio conmemorativo.

3. Construcción

La construcción se realizará siguiendo parte de las directrices del Manual MOPT (Ministerio de Obras Públicas-Tapial) del que se hablará posteriormente, ya que el escaso marco normativo constructivo hace que el proyecto se resuelva desde la propia morfología y comportamiento del material, adaptándose éste a las necesidades del material y no al contrario, solución común en la arquitectura contemporánea, en la que el detalle constructivo se supedita a la forma deseada.

3.1 Elección de tierras

Antes de la construcción del tapial tendremos que proceder a la identificación de tierras que vayamos a usar, de ello dependerá la calidad, resistencia y durabilidad, estará basado en parámetros aproximados.

Las muestras se tomarán en lugares exactos de manera manual o mecánica, se tomarán entre 10 y 50 kg para un test completo, y se realizarán las pruebas de estudio, apuntándose los resultados para más tarde ver si es necesario el añadido de aditivos. Estas pruebas son: clasificación visual, sedimentación, palmeteo, rollito y lavado de manos. Con estos resultados se obtendrá el código de suelo, que dará las posibilidades para su posterior utilización en la obra y la elección del estabilizante.¹

3.2 Puesta en obra

Según se cita en el MOPT, para comenzar a construir sobre la cimentación esta deberá cumplir los siguientes aspectos; repartir la carga estática uniformemente sobre el terreno, resistir los agentes atmosféricos (salpicadura, corriente de ladera, agua de capilaridad, nivel freático), resistencia a cargas dinámicas sísmicas, deformación compatible con la de la pared, barrera frente a ratas, hormigas, termitas...

Se montarán los moldes, empezando por las esquinas, encuentros entre paredes y cruces, eligiendo entre montarlos sobre el zócalo ya ejecutado o a ras del suelo sin agujas y levantando el zócalo dentro del cajón.

Una vez fijados los moldes y realizado el zócalo se procederá a añadir la tierra, con pala, volcado... por tongadas que no alcancen los 10 cm una vez apisonados. Durante el proceso se comprobará tanto la humedad como la resistencia de este, teniendo especial cuidado al apisonar las esquinas de los muros. Para la realización de huecos se reforzarán con fuertes marcos colocados antes del apisonado y apuntalados para evitar su deformación.

En el caso de utilizar un estabilizante como en nuestro caso la cal, se utilizan proporciones que van del 2% al 8%. Se deberá cubrir la obra en caso de lluvia y durante el verano se evitará la desecación con lonas húmedas, aumentando la atención al estar estabilizada.

3.3 Detalles constructivos

La construcción del proyecto se lleva a cabo resolviéndolo con técnicas vernáculas y además fijándonos en la propia morfología del proyecto, como ya se ha mencionado anteriormente. Se muestran algunos de los detalles constructivos realizados para resolver el proyecto.

4. Cálculo

Los cálculos estructurales de materiales como la tierra prensada son difíciles de realizar debido a la escasa información y normativas que encontramos en España, por eso se hace necesario remontarse a antiguos manuales y normativas extranjeras para tener una idea global de su resolución.

4.1 Normativas

La tierra, a pesar de ser utilizada como material de construcción desde hace siglos posee una normativa muy dispersa, surgiendo muchos problemas técnicos y legales para construir con ella. A pesar de esto, la actividad constructiva con este material está creciendo, lo que ha llevado a muchos países, entre ellos España, a trabajar en una normalización, publicando y desarrollando normas; o como Perú, mejorando documentos ya existentes.

A continuación y con ayuda del trabajo de "Las normativas de construcción con tierra en el mundo"² se adjunta la tabla 2 con los países y normativas que tratan la técnica del tapial que es con la que se está resolviendo el proyecto del "Centro Cívico en Granadilla".

Las comprobaciones estructurales de los muros de tapial serán resueltas siguiendo el manual del Ministerio de obras públicas del Tapial (MOPT). Se consultarán también otras guías y normativas como la de Australia, a la que se ha tenido acceso, a modo de consulta y como ayuda para comprobar las fórmulas del MOPT.

4.2 MOPT

Para poder estudiar la estabilidad de los muros proyectados de tapial, usaremos una guía redactada en España por el Ministerio de Obras Públicas MOP especializado en tapial MOPT que consta de los siguientes apartados en el aspecto estructural del tapial:

PAIS	NORMA/REGLAMENTO	TECNICA	NOTAS
Australia	HB 195, 2002	Tapial	Manual construccion con tierra
Brasil	NBR 13553, 1996	Tapial	Tapia con cemento
EEUU	NMAC, 14.7.4, 2004	Tapial	Reglamento estatal de nuevo méxico
EEUU	ASTM E2392, M10	Tapial	Guía estándar de construcción
España	MOPT, 1992	Tapial	Bases diseño y construcción
India	IS 2120, 1980	Tapial	Paredes de suelo-cemento
India	IS 1827, 1993	Tapial	Resistencia a terremotos
Italia	Ley 378, 2004	Tapial	Conservación del patrimonio en tierra
Italia	L.R 2/06 2, 2006	Tapial	Conservación del patrimonio en tierra
N.Zelanda	NZS 4297, 1998	Tapial	Diseños de ingeniería para la construccion
N.Zelanda	NZS 4298, 1998	Tapial	Materiales y mano de obra
N.Zelanda	NZS 4299, 1999	Tapial	Sin diseño específico
Zimbague	SAZS 724, 2001	Tapial	Guía estándar de construcción

Tabla 2. Tabla con los países y normativas que tratan la técnica del tapial con ayuda del trabajo de “Las normativas de construcción con tierra en el mundo 2”. Fuente: CANAS. I. CID. J, MAZARRON. F.R.

4.2.1 Características probables de las paredes de tierra (Tabla 3)

4.2.2 Condiciones generales

Para la validez del método debe tenerse en cuenta como condiciones de partida para las edificaciones que se planean realizar:

- La distribución de cargas debe ser, en líneas generales, uniforme.
- Todos los muros deben estar arriostrados perpendicularmente a su plano para lo cual deben trabarse convenientemente en cruces y esquinas.

- Todos los muros deben estar atados en su parte superior.
- La cubierta debe ser rígida para no transmitir empujes a los muros y para hacer que el conjunto trabaje como una caja cerrada ante las cargas exteriores.
- Debe asegurarse la compatibilidad de deformaciones entre las paredes de tierra y sus cimientos, así como la resistencia de éstos.
- Debe garantizarse la estabilidad del material a lo largo del tiempo, otorgándole una protección adecuada frente a los agentes externos, particularmente ante el agua.

	Ambiente seco		Ambiente húmedo
TENSION DE ROTURA	Sc(kg/cm²)	St(kg/cm²)	Sc (kg/cm²)
Pared de tierra sola	5 a 20	En todos los casos 1/10Sc	En todos los casos 1/10Sc
Estabilizado con:			
Cemento portland	40 a 100		
Cal y cemento	35 a 85		
Cal	25 a 75		
Asfaltos	20 a 50		
Fibras	10 a 20	variable	variable

Tabla 3. Características probables de las paredes de tierra Fuente: MOPT, Gonzalo Bauluz del Rio, Pilar Bárcena Barrios.

4.2.3 Tensiones de rotura

Para la obtención de la resistencia mecánica de un elemento de tierra determinado hay tres alternativas, cuya elección dependerá del tipo de edificación a realizar y de los medios con que se cuente para ello.

En este caso se optará por la obtención en laboratorio de la resistencia característica del material, mediante rotura de un número significativo de probetas que represente el conjunto de toda la obra. Esto debe ir acompañado de un minucioso análisis de granulometrías y de control de ejecución.

Esta posibilidad es recomendable para obras de gran magnitud y riesgo, y/o sin limitación en los medios económicos disponibles.

4.2.4 Resistencia de diseño

A las resistencias de rotura a compresión tracción y cortadura se les debe aplicar un coeficiente de seguridad según la tabla 4.

Tensión de diseño: $S_d = S_{rotura} / C$

De modo aproximado puede tomarse, para el tapial:

Resistencia a tracción: $S_t = S_d / 10$

Resistencia a cortante: $S_v = S_d / 8$

4.2.5 Cálculo de cargas

Se deberán mayorar todas las cargas excepto el peso propio del tapial.

4.2.6 Altura y esbeltez de un elemento

Toda carga normal, Q, actúa con cierta excentricidad. Esta está producida bien por la situación excéntrica de la propia carga sobre la sección de muro, bien por efecto de los momentos flectores transmitidos al muro de apoyo por vigas, cargaderos o losas. Incluso esfuerzos teóricamente centrados actúan en la práctica excéntricamente debido a la falta de homogeneidad del material y a la geometría real del elemento. Está excentricidad inicial aumenta posteriormente por efecto del pandeo del muro.

El efecto anterior puede ser compensado por la aplicación de un coeficiente de pandeo a

solicitud, a efectos de cálculo. De otro modo habría que realizar una serie de complicados cálculos.

El coeficiente de pandeo depende de la esbeltez del muro, es decir, de la relación entre su altura y anchura virtuales.

$I = h_v / e_v$

Altura virtual; Depende de las condiciones de arriostramiento del muro, si h es la altura del muro la altura virtual será h_v y estará determinada por: $h_v = h / a$

Donde a es un factor que puede ser obtenido en la tabla siguiente, y “X” la distancia entre arrastramientos verticales que tenga el elemento (Tabla 5).

El coeficiente de pandeo W se obtiene de la tabla 6.

4.2.7 Condiciones de resistencia y estabilidad

4.2.7.1 Esfuerzo normal

La condición de resistencia local de dicho elemento depende de un área eficaz definida por un triángulo cuyo baricentro está situado en el punto de aplicación de la carga.

En determinados casos la obtención del área eficaz B puede ser complicada. Para ello puede asimilarse dicho área eficaz a un rectángulo con baricentro en el punto de aplicación de la carga, y área eficaz; $B = (b - 2e_y) \times (d - 2e_z)$. Se deberán cumplir las siguientes premisas:

COEFICIENTES C DE MINORACION DE RESISTENCIA		
	Paredes exteriores o en contacto con un ambiente húmedo	Paredes interiores y sin contacto con un ambiente húmedo
Control intenso de ejecución en laboratorio	6	3
Resto de casos	8	4

Tabla 4. Tabla para aplicar el coeficiente de seguridad. Fuente: MOPT, Gonzalo Bauluz del Río, Pilar Bárcena Barrios.

Arriostramiento horizontal en la coronación	VALOR DE H/X		
	1	0,5	<0.25
SI	2	1,25	1
NO	1	0,625	2

Tabla 5. Obtención factor a. Fuente: MOPT, Gonzalo Bauluz del Río, Pilar Bárcena Barrios.

COEFICIENTES DE PANDEO							
Valores de la esbeltez I	18	14	12	10	8	6	4
Coficiente de pandeo W	4	2	1,7	1,4	1,2	1	0,8

Tabla 6. Obtención coeficiente de pandeo. Fuente: MOPT, Gonzalo Bauluz del Río, Pilar Bárcena Barrios.

COPROBACIONES Y DATOS	HB 195, 2002	MOPT	NOTAS
Tensión de rotura, Sc (kg/cm²)	40-60	5-100	La tensión según el Mopt variará según el estabilizante
Tension de diseño, Sd= Sc·Fs	Con humedad; Sc·0.45·0.5	Con humedad; Sc/6	Los coeficientes del MOPT son esos si las muestras se analizan de manera intensa en laboratorio, sino los coeficientes a aplicar seran 8 y 4 respectivaente
	Sin Humedad: Sc·0.45	Sin Humedad; Sc/3	
Resistencia a tracción, St	St=Sd·0.6 (coef max)	St=Sd/10	Más seguro el MOPT
Resistencia a cortante, Sv	Sv=Sd·0.6 (coef max)	Sv=Sd/8	Más seguro el MOPT
Comprobación a compresión, Sd	Qd//A<kxSd	Qdxw/A<Sd	Son similares ya que tras analizar los datos vemos que 1/k≈w
Comprobación a cortante, Sv	Vd<Vo+SvxAv	Vd/A<Sv	Coo según el HB 195, 2002 Vo tiende a 0 vemos que las fórmulas son semejantes
Comprobacion a flexion	Md<(St+Sd)W	$(M_1/w_1)+(M_2/w_2)-(Q/A)<Sd/10$	A pesar de no coincidir las formulas principales, la comprobacion del MOPT es semejante a la comprobacion en uno de los test de las muestras de la que habla la normativa australiana en uno de sus anexos
	Test; M/w-Q/A		
Comprobacion a compresion + cortante	No consta	$S=(VQd2+4xVd2+Qd)/2B<Sd$	No validas, mal escrita, corregida a continuacion tras consultar con uno de los autores
	No consta	$S=(VQd2+4Vd2-Qd)/2B<Sd/8$	
	No consta	$S=(\sqrt{(Qd^2+ 4xVd^2)} +Qd)/2B<Sd$	Reeditada, tras analizar la formula vemos que viene de la comprobacion del hormigón en mas
	No consta	$S=(\sqrt{(Qd^2+ 4xVd^2)}-Qd)/2B<Sd/8$	

Tabla 7. Comprobaciones y datos. Comprobación con la normativa australiana HB 195, 2002. Fuente: Paula Orío Pérez

Condición de resistencia local $S=(Qd/B)<Sd$

Condición de estabilidad $S=(Qd \times W/A)<Sd$

4.2.7.2 Esfuerzo de flexión

No deben producirse flexiones en los elementos de tierra, especialmente en paredes que puedan estar en contacto con el agua o con un ambiente saturado de humedad, sin embargo puede admitirse una cierta resistencia. Deberá cumplir:

Condición de resistencia local:

• $S=(M_1/W_1+M_2/W_2-Q/A)<Sd/10$

Siendo:

- Área de la sección del elemento: A
- Módulos resistentes en ejes principales: W1 y W2
- Momentos flectores en ejes principales: M1 y M2
- Carga vertical sin mayorar: Q

4.2.7.3 Esfuerzo cortante

Si sobre un elemento de tierra actúa únicamente una cortadura Vd, sin que haya carga vertical, basta con comprobar que el esfuerzo cortante generado en el elemento Sv es:

Condición de resistencia local:

$Sv=(Vd/A)<Sd/8$

4.2.7.4 Esfuerzo cortante y esfuerzo normal

Si además de Vd actúa sobre el elemento una carga vertical Qd, la seguridad se comprueba por el cumplimiento simultáneo de estas dos condiciones (escritas como aparecen en el MOPT y luego reeditadas en el apartado siguiente).

• $S=((VQd2+4 \times Vd2+Qd))/2B<Sd$

• $S=((VQd2+4Vd2-Qd))/2B<Sd/8$

ACCIONES A COMPROBAR	TIPO	MAGNITUD	UNIDADES
EN LA PARTE SUPERIOR	VERTICAL,Qd	5,3	KN
	HORIZONTAL,Vd	0,036	KN
	MOMENTO,M	0	KN
DEBAJO DEL DURMIENTE	VERTICAL,Qd	13,55	KN
	HORIZONTAL,Vd	No procede	KN
	MOMENTO,M	No procede	KN
EN LA PARTE INFERIOR	VERTICAL,Qd	79,5	KN
	HORIZONTAL,Vd	8,036	KN
	MOMENTO,M	excentricidad	KN

Tablas 8 y 9. Ejemplo de cálculo. Fuente: PFC, Paula Orío Pérez, 2016.

DATOS	MAGNITUD	UD
Área, A	0,65	m²
Área eficaz, B1	0,225	m²
Área eficaz, B2	0,225	m²
Área eficaz, B3	0,62	m²
Espesor, e	0,65	m
Espesor V, ev	0,65	m
Altura, h	6,6	m
Altura V, Hv	10,154	m
Esbeltez, l	15,621	
Anchura, b	1	m
Arriostramiento, a	0,65	m
Coeficiente Pandeo, w1	3	-

MURO 2 MUSEO-MACHON CENTRAL						
COMPROBACIONES		FORMULA	RESULTADO			
EN LA BASE SUPERIOR DEL MURO	Resistencia	$S= (Qd/B)<Sd$	26,5	<	367,5	Cumple
	Cortante+qd	$S=(\sqrt{(Qd^2 + 4xVd^2)} + Qd)/2B \leq Sd$	26,501	<	367,5	Cumple
		$S=(\sqrt{(Qd^2 + 4xVd^2)} - Qd)/2B \leq Sd/8$	0,001	<	45,94	Cumple
DEBAJO DEL DURMIENTE	Resistencia	$S=Qd/B<Sd$	67,75	<	367,5	Cumple
EN LA BASE INFERIOR DEL MURO	Resistencia	$S= (Qd/B)<Sd$	128,23	<	367,5	Cumple
	Estabilidad	$S= (Qdx W/A)<Sd$	366,92	<	367,5	Cumple
	Cortante+qd	$S=(\sqrt{(Qd^2 + 4xVd^2)} + Qd)/2B \leq Sd$	129,52	<	367,5	Cumple
		$S=(\sqrt{(Qd^2 + 4xVd^2)} - Qd)/2B \leq Sd/8$	1,297	<	45,94	Cumple

Tabla 10. Ejemplo de cálculo. Fuente: PFC, Paula Orío Pérez, 2016.

4.3 Revisión, reedición de las fórmulas y notas

Tras ver las comprobaciones exigidas por el Manual Del MOPT se procederá a compararlas con las que aparecen en la normativa australiana HB 195, 2002 (tabla 7).

Se demostrará que entre ellas hay una gran similitud excepto en algunos aspectos en los que la normativa del Ministerio de Obras Públicas es más restrictiva y se pondrá del lado de la seguridad, al mismo tiempo también se enseña que una de las comprobaciones del MOPT está relacionada con la del hormigón en masa.

Otra de los datos que son discutibles dentro del manual es la referencia de armados interiores, ya que dentro del manual lo ponen como positivo, disminuyendo de esta forma

el coeficiente de seguridad, lo que en la aplicación en una obra no es del todo cierto, ya que la incorporación de refuerzos a veces perjudica más de lo que puede beneficiar. Esto es debido a que a la hora de prensar la tierra dentro de sus moldes, si en el interior encontramos refuerzos, la aplicación de la técnica de prensado puede verse dificultada por estos elementos y del mismo modo puede que no se ejecute de la mejor manera, siendo esto mucho más perjudicial a la larga que el hecho de no incluir estos elementos de refuerzo y arriostramiento.

4.4 Ejemplo de cálculo

Se procede a mostrar uno de los muros calculados en el proyecto, este es uno de los más desfavorables de todos los edificios que hay en el conjunto del proyecto desarrollado en la Villa de Granadilla.

Pertenece a una de las fachadas del edificio administrativo, localizado en el espacio en el que se alberga el archivo, será una de las fachadas con dos alturas teniendo en cuenta las cargas de cubiertas y forjados además de la carga de viento exigida por el CTE. El momento producido por la excentricidad se obviará porque es prácticamente despreciable.

5. Conclusiones

Como se puede apreciar las comprobaciones del manual MOPT son fiables y adecuados para la resolución de la estructura a partir de muros de tapia en cualquiera de los proyectos contemporáneos que puede haber hoy en día.

Basta con tratar el material con el respeto que se merece y resolver el proyecto no como un estándar, sino bajo su propia morfología,

y ayudarnos de esta para dibujar el proyecto teniendo siempre en cuenta las limitaciones obvias del material, como puede ser el número de plantas, el grosor de los muros, la distancia entre muros que arriostran...

En cuanto a la existencia de normativas que ayuden a resolver el cálculo estructural para las distintas aplicaciones de la tierra, a pesar de ser escasas, están resurgiendo en países con inquietudes en la aplicación técnica de este material, que están redactando normativas homologadas para desarrollar proyectos contemporáneos con tierra, ya que debido a su sostenibilidad puede ser una solución con mucha perspectiva en un futuro no muy lejano, y sobre la que se debería seguir trabajando para mejorar sus condiciones respecto a la capacidad de rotura y alguna de las limitaciones que este material tiene.

Bibliografía

BALAUZ DEL RIO, Gonzalo. BARCENA BARRIOS, Pilar. "MOPT, Bases para el diseño y construcción con tapial."

CANAS. I. CID.J, MAZARRON. F.R. *Las normativas de construcción con tierra en el mundo.*

FUENTES GARCIA, Raquel M^o. "Construcciones de tierra. El Tapial. Nuevo sistema para la construcción y restauración mediante la técnica de tierra proyectada"

GATTI, Fabio. "Arquitectura y construcción en Tierra. Estudio Comparativo de las Técnicas Contemporáneas en Tierra".

MINKE, Gernot. *Building with Earth. Design and technology of a sustainable architecture.*

WALKER, Peter. *The australian earth building handbook.* Standards Australia.

WALTER, Peter. KEABLE, Rowland. MARTIN, Joe. MANIATIDIS, Vasilios. *Rammed Earth. Design and construction guidelines.*

Citas y notas

* **Paula Orío Pérez**, *Arquitecta. ETS Arquitectura. Universidad del País Vasco- Euskal Herriko Unibertsitatea. Donostia- San Sebastián, España.*

Íñigo Rodríguez Vidal, *Doctor-Arquitecto, Profesor Laboral Interino. E.T.S.Arquitectura, Universidad del País Vasco-Euskal Herriko Unibertsitatea. Donostia- San Sebastián, España.*

1. Se obtendrá de la tabla "Valoración y utilización de los suelos" que esta incluida dentro del MOPT y posteriormente de la tabla "Tabla para la elección de estabilizantes" junto con la comprobación de la curva granulométrica también incluida en el manual.

2. CANAS. I. CID.J, MAZARRON. F.R. "Las normativas de construcción con tierra en el mundo"