ANEXO - RESOLUCIÓN MINISTERIAL Nº 121-2017-VIVIENDA

(La Resolución Ministerial de la referencia se publicó en la edición del día jueves 5 de abril de 2017)

NORMA E.080
DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN CON TIERRA REFORZADA

ÍNDICE

CAPÍTULO I
DISPOSICIONES GENERALES

Artículo 1.- Alcance.
Artículo 2.- Objeto.
Artículo 3.- Definiciones.

CAPÍTULO II
CONSIDERACIONES GENERALES PARA LA CONSTRUCCIÓN DE EDIFICACIONES DE TIERRA REFORZADA

Artículo 4.- Consideraciones básicas.
Artículo 5.- Requisitos de los materiales para la construcción de edificaciones de tierra reforzada.
Artículo 6.- Criterios de configuración de las edificaciones de tierra reforzada.
Artículo 7.- Sistema estructural para edificaciones de tierra reforzada.
Artículo 8.- Esfuerzo de rotura mínimos. Ensayos de laboratorio.
Artículo 9.- Esfuerzos admisibles.
Artículo 10.- Requisitos para las instalaciones eléctricas en edificaciones de tierra reforzada.
Artículo 11.- Requisitos para las instalaciones sanitarias en edificaciones de tierra reforzada.

CAPÍTULO III
CONSTRUCCIÓN DE EDIFICACIONES DE TAPIAL REFORZADO

Artículo 12.- Condiciones de la tierra a utilizar.
Artículo 13.- Unidades de tapial y encofrado.
Artículo 14.- Fabricación de la unidad de tapial.
Artículo 15.- Protección de las hiladas de tapial.
Artículo 16.- Reforzamiento.

CAPÍTULO IV
CONSTRUCCIÓN DE EDIFICACIONES DE ADOBE REFORZADO

Artículo 17.- Condiciones de la tierra a utilizar.
Artículo 18.- Preparación del adobe.
Artículo 19.- Preparación del mortero.
Artículo 20.- Reforzamiento.

CAPÍTULO V
OBRAS PATRIMONIALES DE TIERRA

Artículo 21.- Consideraciones para la intervención técnica en una obra patrimonial de tierra.

ANEXOS

ANEXO Nº 1 Prueba “Cinta de barro”
ANEXO Nº 2 Prueba “Presencia de arcilla o “Resistencia seca”
ANEXO Nº 3 Prueba “Contenido de humedad” para la construcción con tapial
ANEXO Nº 4 Prueba “Control de fisuras” o “Dosificación suelo-arena gruesa”.
ANEXO Nº 5 Recomendaciones para las juntas de avance en la técnica del tapial reforzado.
ANEXO Nº 6 Recomendaciones para el ajuste de lazos verticales y horizontales para los refuerzos con mallas de sogas sintéticas.

CAPÍTULO I
DISPOSICIONES GENERALES

Artículo 1.- Alcance

1.1 La norma es de alcance nacional y su aplicación es obligatoria para la elaboración de materiales de construcción para edificaciones de tierra reforzada (adobe reforzado y tapial reforzado).

1.2 La norma se refiere a las características mecánicas de los materiales para la construcción de edificaciones de tierra reforzada, al diseño sismorresistente para edificaciones de tierra reforzada, a los elementos estructurales fundamentales de las edificaciones de tierra reforzada así como al comportamiento de los muros de adobe y tapial, de acuerdo a la filosofía de diseño sismorresistente.
Las edificaciones de tierra deben ser construcciones reforzadas para conseguir el comportamiento siguiente:

a) Durante sismos leves, las edificaciones de tierra reforzada pueden admitir la formación de fisuras en los muros.
b) Durante sismos moderados, las edificaciones de tierra reforzadas pueden admitir fisuras más importantes, sin embargo están controladas por refuerzos, sin producir daños a los ocupantes. La estructura debe ser reparable con costos razonables.
c) Durante la ocurrencia de sismos fuertes, se admite la posibilidad de daños estructurales más considerables, con fisuras y deformaciones permanentes, pero controladas por refuerzos. No deben ocurrir fallas frágiles y colapsos parciales o totales, que puedan significar consecuencias fatales para la vida de los ocupantes.

Las definiciones de sismo leve, sismo moderado y sismo fuerte corresponden a lo indicado en el artículo 3 de la presente Norma.

1.3. La norma se orienta al diseño, construcción, reparación y reforzamiento de edificaciones de tierra reforzada, inspirada en el desarrollo de una cultura de prevención de desastres y en la búsqueda de soluciones económicas, seguras, durables, confortables y de fácil difusión. Las estructuras existentes incluyen las obras patrimoniales de tierra.

1.4 Los proyectos elaborados con alcances distintos a los considerados en la presente Norma, deben estar respaldados con un estudio técnico firmado por un ingeniero colegiado y habilitado.

Artículo 2.- Objeto

2.1 Establecer requisitos y criterios técnicos de diseño y construcción para edificaciones de tierra reforzada.

2.2 Conferir seguridad sísmica a la construcción de edificaciones de tierra reforzada, mediante una filosofía de diseño que defina un comportamiento estructural adecuado.

2.3 Conceder durabilidad a las edificaciones de tierra reforzada frente a los fenómenos naturales y antrópicos.

2.4 Promover las características de la construcción de edificaciones de tierra reforzada, su accesibilidad, bajo costo, virtudes ecológicas y medio ambientales, bajo consumo energético aislamiento térmico y acústico, sus formas tradicionales y texturas rústicas.

Artículo 3.- Def niciones

Para efectos de la aplicación de la presente Norma se tiene en cuenta las definiciones siguientes:

1. **Aditivos naturales.** Materiales naturales como la paja y la arena gruesa, que controlan las fisuras que se producen durante el proceso de secado rápido.
2. **Adobe.** Unidad de tierra cruda, que puede estar mezclada con paja u arena gruesa para mejorar su resistencia y durabilidad.
3. **Adobe (Técnica).** Técnica de construcción que utiliza muros de albañilería de adobes secos asentados con mortero de barro.
4. **Altura libre de muro.** Distancia vertical libre entre elementos de arriostre horizontales.
5. **Arcilla.** Único material activo e indispensable del suelo. En contacto con el agua permite su amasado, se comporta plásticamente y puede cohesionar el resto de partículas inertes del suelo formando el barro, que al secarse adquiere una resistencia seca que lo convierte en material constructivo. Tiene partículas menores a dos micras (0.002 mm).
6. **Arena f na.** Es un componente inerte, estable en contacto con agua y sin propiedades cohesivas, constituido por partículas de roca con tamaños comprendido entre 0.08 mm y 0.50 mm. Como el limo puede contribuir a lograr una mayor compacidad del suelo, en ciertas circunstancias.
7. **Arena gruesa.** Es un componente inerte, estable en contacto con el agua, sin propiedades cohesivas, constituido por partículas de roca comprendidas entre 0.6 mm y 4.75 mm (según Normas Técnicas Peruanas y/o las mallas Nº 30 y Nº 4 ASTM) que conforman la estructura granular resistente del barro en su proceso de secado. La adición de arena gruesa a suelos arcillosos, disminuye el número y espesor de las fisuras creadas en el proceso de secado, lo que significa un aumento de la resistencia del barro seco según se ha comprobado en el laboratorio.
8. **Arriostre.** Componente que impide significativamente el libre desplazamiento del borde de muro, considerándose un apoyo. El arriostre puede ser vertical (muro transversal o contrafuerte) u horizontal.
9. **Colapso.** Derrumbe súbito de muros o techos. Puede ser un derrumbe parcial o total.

10. **Contrafuerte.** Es un arriostre vertical construido con este único fin. De preferencia puede ser del mismo material o un material compatible (por ejemplo, piedra).
11. **Densidad de muros.** Cociente entre la suma de áreas transversales de los muros paralelos a cada eje principal de la planta de la construcción y el área total techada.
12. **Dormido.** Proceso de humedecimiento de la tierra ya zarandeada (cernida o tamizada para eliminar piedras y terrones), durante dos o más días, para activar la mayor cantidad de partículas de arcilla, antes de ser amasada con o sin paja para hacer adobes o morteros.
13. **Edif cación de T ierra Reforzada.** Edificación compuesta de los siguientes componentes estructurales: cimentación (cimiento y sobrecimiento), muros, entrepisos y techos, arriostres (verticales y horizontales), refuerzos y conexiones.
    Cada uno de los componentes debe diseñarse cumpliendo lo desarrollado en la presente Norma, para evitar el colapso parcial o total de sus muros y techos, logrando el objetivo fundamental de conceder seguridad de vida a los ocupantes. Estas edificaciones pueden ser de adobe reforzado o tapial reforzado.
14. **Esbeltez.** Relación entre las dimensiones del muro y su máximo espesor. Hay dos tipos de esbeltez de muros: i) La esbeltez vertical (ʎv), que es la relación entre la altura libre del muro y su máximo espesor, y ii) La esbeltez horizontal (ʎh), que es la relación entre el largo efectivo del muro y su espesor.
15. **Extremo libre de muro.** Es el borde vertical u horizontal no arriostrado de un muro.
16. **Fisura o grieta estructural.** Rajadura que se presenta en los muros de tierra producidas por cargas mayores a las que puede resistir el material, por gravedad, terremotos, accidentes u otros. Atraviesan los muros de lado a lado y pueden ser de espesores variables o invisibles al ojo humano.
    Grieta: Abertura mayor a un milímetro.
    Fisura: Abertura igual o menor de un milímetro.
17. **Largo efectivo.** Distancia libre horizontal entre elementos de arriostre verticales o entre un elemento de arriostre y un extremo libre.
18. **Limo.** Es un material componente inerte, estable en contacto con agua y sin propiedades cohesivas, constituido por partículas de roca con tamaños comprendidos entre 0.002 mm y 0.08 mm.
19. **Mazo o pisón.** Dispositivo de madera utilizado en la técnica del tapial para compactar la tierra húmeda colocada entre los tableros (moldes o encofrados). Puede haber varios tipos de mazos: para los bordes, para el centro y para la superficie final de las capas. Su peso es de alrededor de 10 kgf.
20. **Mortero.** Material de unión de los adobes en una albañilería. Debe ser de barro mezclado con paja o con arena gruesa y eventualmente con otras sustancias naturales espesas para controlar las fisuras del proceso de secado (cal, mucílagos de cactus, y otros comprobados).
21. **Muro.** Es un muro arriostrado cuya estabilidad lateral está confiada a elementos de arriostre horizontales y/o verticales y que incluye refuerzos.
22. **Prueba de campo.** Ensayo realizado sin herramientas a pie de obra o en laboratorio, basados en conocimientos comprobados en laboratorio a través de métodos rigurosos, que permite tomar decisiones de selección de canteras y dosificaciones.
23. **Prueba de laboratorio.** Ensayo de laboratorio que permite conocer las características mecánicas de la tierra, para diseñar y tomar decisiones de ingeniería.
24. **Refuerzos.** Elementos constituidos por materiales con alta capacidad de tracción, que sirven para controlar los desplazamientos de muros en caso de fisuras estructurales. Deben ser compatibles con el material tierra, es decir, flexibles y de baja dureza para no dañarlo, incluso durante las vibraciones que producen los sismos.
25. **Secado.** Proceso de evaporación del agua que existe en la tierra húmeda. El proceso debe controlarse para producir una evaporación muy lenta del agua, mientras la arcilla y barro se contraen y adquieren resistencia. Si la contracción es muy rápida, se producen fisuras.
26. **Sismo fuerte.** Igual o mayor a la intensidad VII de la Escala de Mercalli Modificada.
27. **Sismo leve.** Igual o menor a intensidad III de la Escala de Mercalli Modificada.
28. **Sismo moderado.** Entre las intensidades IV y VI de la Escala de Mercalli Modificada.
29. **Tableros para tapial.** Encofrados móviles normalmente de madera que se colocan paralelos y sujetos entre sí para resistir las fuerzas laterales propias de la compactación de la tierra.
30. **Tapial (Técnica).** Técnica de construcción que utiliza tierra húmeda vertida en moldes (tableros) firmes, para ser compactada por capas utilizando mazos o pisones de madera.
31. **Técnica mixta.** Utiliza además de la tierra uno o más materiales de construcción.
32. **Tierra.** Material de construcción compuesto de cuatro componentes básicos: arcilla, limo, arena fina y arena gruesa.
33. **Viga collar.** Componente estructural de uso obligatorio, que generalmente conectan a los entrepisos y techos con los muros. Adecuadamente rigidizados en su plano, actúan como elemento de arriostre horizontal.

CAPÍTULO II
CONSIDERACIONES GENERALES PARA LA CONSTRUCCIÓN DE EDIFICACIONES DE TIERRA REFORZADA

Artículo 4.- Consideraciones básicas

4.1 Las edificaciones de tierra reforzada no deben ubicarse en zonas de alto riesgo de desastre, especialmente con peligros tales como: inundaciones, avalanchas, aluviones y huaycos. No se debe construir en suelos con inestabilidad geológica.

4.2 Las edificaciones de tierra reforzada deben ser de un piso en las zonas sísmicas 4 y 3, y hasta de dos pisos en las zonas sísmicas 2 y 1, según los distritos y provincias establecidos en el Anexo Nº 1 de la Norma E.030 Diseño Sismorresistente sobre Zonificaciones Sísmicas, aprobado por Decreto Supremo Nº 003-2016-VIVIENDA.

Figura 1. Mapa de Zonif cación Sísmica, según Norma E.030 Diseño Sismorresistente

Ver distritos y provincias que conforman cada zona sísmica en el Anexo N° 1 de la Norma E.030 Diseño Sismorresistente sobre Zonificaciones Sísmicas.

4.3 Las edificaciones de tierra reforzada deben cimentarse sobre suelos firmes y medianamente firmes de acuerdo con la Norma E.050 Suelos y Cimentaciones. No se cimienta sobre suelos granulares sueltos, cohesivos blandos, ni arcillas expansivas. Se prohíbe la cimentación en suelos de arenas sueltas que pueden saturarse de agua (riesgo de licuefacción de suelos).

4.4 El proyecto arquitectónico, eléctrico y sanitario de edificaciones de tierra reforzada debe concordarse con el proyecto estructural, cuyas características se señalan en la presente Norma.

4.5 El diseño estructural de las edificaciones de tierra reforzada deben estar basados en los siguientes criterios: resistencia, estabilidad y comportamiento sismorresistente (refuerzos compatibles) y es respaldado por el profesional responsable.

4.6 Los métodos de análisis deben estar basados en comportamientos elásticos del material, sin perjuicio que se puedan utilizar criterios de comportamiento inelástico.

4.7 Los métodos para obtener la aprobación de nuevas técnicas mixtas relacionadas con el material tierra, deben estar basados en estudios que demuestren su adecuado comportamiento sísmico en el estado de servicio y en el estado último, sin producir fallas frágiles o colapsos súbitos y en concordancia con la filosofía de diseño. Para su aprobación se pueden utilizar las siguientes alternativas:

a) Verificación experimental de comportamiento sísmico mediante ensayos cíclicos, seudo-dinámicos o dinámicos que incluyan claramente el rango de comportamiento último.
b) Diseño racional basado en principios de ingeniería aceptados, bajo responsabilidad del profesional.
c) Historia de servicio y comportamiento adecuado en sismos severos.

Artículo 5.- Requisitos de los materiales para la construcción de edif caciones de tierra reforzada

5.1 **Tierra:** Debe verificarse que la tierra contenga adecuada presencia de arcilla mediante las pruebas indicadas en los Anexos Nºs. 1 y 2 de la presente Norma. Asimismo, que se encuentre libre de cantidades perjudiciales de materia orgánica. Su resistencia debe cumplir lo indicado en:

a) Artículo 8, inciso 8.1 o 8.2 (para tapial).
b) Artículo 8, inciso 8.1 o 8.2 y 8.3 (para adobe).

5.2 **Agua:** Debe cumplir las características siguientes:

a) Agua potable o agua libre de materia orgánica, sales y sólidos en suspensión.
b) Estar limpia y libre de cantidades perjudiciales de aceites, ácidos, álcalis, sales, materia orgánica y otras sustancias que puedan ser dañinas.
c) El agua de mar sólo puede emplearse si se cuenta con la autorización del ingeniero proyectista y del responsable de la supervisión.

Artículo 6.- Criterios de conf guración de las edif caciones de tierra reforzada

Las edificaciones de tierra reforzada, deben cumplir con los siguientes criterios de configuración:

6.1 Muros anchos para su mayor resistencia y estabilidad frente al volteo. El espesor mínimo del muro es de 0.40 m. Solo para el tipo de muro indicado en el Esquema 3 de la Figura 4, puede utilizarse un espesor mínimo de 0.38 m según se muestra en el aparejo correspondiente.

6.2 Los muros deben tener arriostres horizontales (entrepisos y techos) así como arriostres verticales (contrafuerte o muros transversales) según la Figura 2.

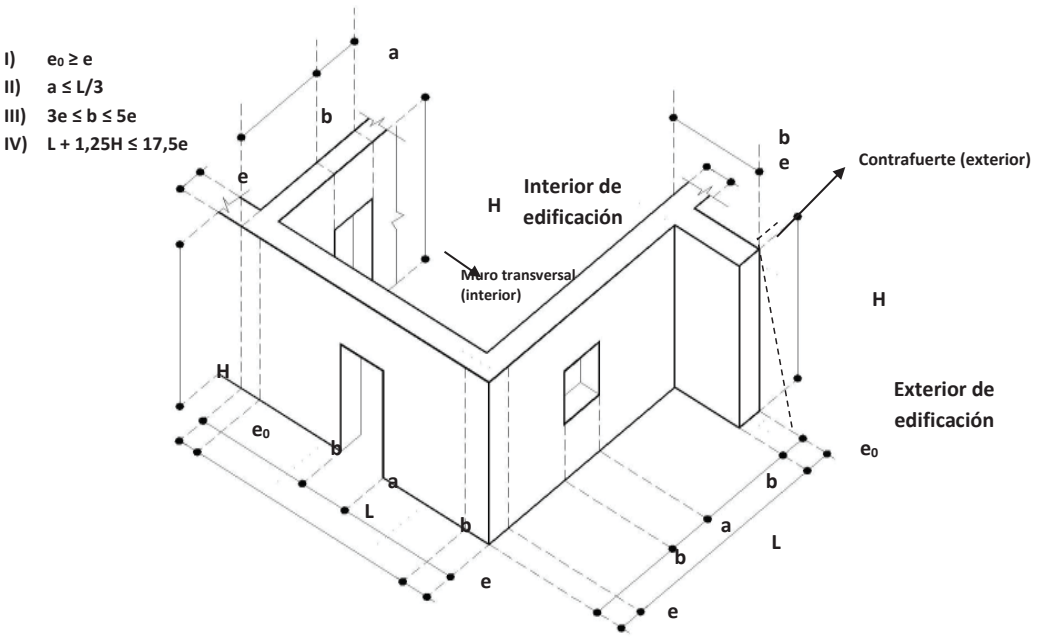
6.3 La densidad de muros en la dirección de los ejes principales debe tener el valor mínimo indicado en la Tabla 2 - Factor de uso (U) y densidad según tipo de edificación. De ser posible, todos los muros deben ser portantes y arriostrados.

6.4 Tener una planta simétrica respecto a los ejes principales.

6.5 El espesor (e), densidad y altura libre de muros (H), la distancia entre arriostres verticales (L), el ancho de los vanos (a), así como los materiales y la técnica constructiva para la construcción de una edificación de tierra reforzada, deben ser aplicados de manera continua y homogénea. La Figura 2 establece los límites geométricos a ser cumplidos.

6.6 Los vanos deben tener las proporciones y ubicación de acuerdo a lo indicado en la Figura 2. Así mismo, se recomienda que sean pequeños y centrados.

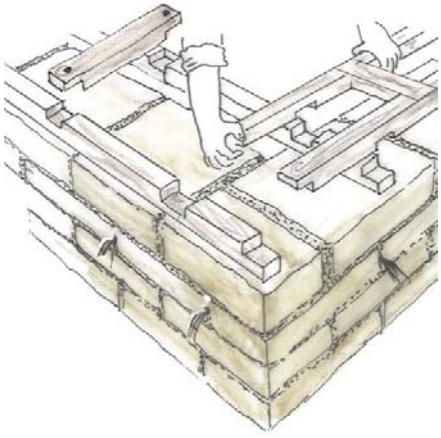
Figura 2. Límites Geométricos de muros y vanos



Nota 1: Cada arriostre vertical (contrafuerte o muro transversal) puede construirse hacia el interior o hacia el exterior de la edificación, según el criterio del proyectista.
Nota 2: La expresión IV relaciona la esbeltez vertical (yv = H/e) con la esbeltez horizontal (ʎh = L/e), de modo que se debe cumplir la expresión: ʎh + 1.25 ʎv ≤ 17.5.
Nota 3: Los muros en general deben tener una esbeltez vertical (ʎV) igual o menor a 6 veces el espesor del muro y una esbeltez horizontal (ʎH) igual o menor a 10 veces el espesor del muro.
La esbeltez vertical puede llegar a un máximo 8, si se cumple la Nota 2.
Nota 4: El contrafuerte puede ser recto o trapezoidal. En caso tenga forma trapezoidal, ver línea segmentada en contrafuerte (exterior) su base o parte inferior debe medir “b” y la parte superior (que sobresale del muro) debe medir como mínimo “b/3”.

6.7 Tener como mínimo una viga collar en la parte superior de cada muro fijada entre sí, así como a los refuerzos, y construidos con un material compatible con la tierra reforzada (madera, caña u otros).

Figura 3. Ejemplo esquemático de un tipo de Viga Collar



6.8 Cálculo de las fuerzas sísmicas horizontales
La fuerza sísmica horizontal en la base de las edificaciones de tierra reforzada se determina mediante la siguiente expresión:

H=S.U.C.P

Donde:

S = Factor de suelo según lo indicado en la Tabla Nº 1.
U = Factor de uso según lo indicado en la Tabla Nº 2.
C = Coeficiente sísmico según lo indicado en la Tabla Nº 3.
P = Peso total de la edificación, incluyendo carga muerta y el 50 % de la carga viva.

Tabla Nº 1
Factor de suelo (S)

Tipo	Descripción	Factor de suelo (S)
I	Rocas o suelos muy resistentes con capacidad portante admisible > 0.3 MPa ó 3.06 kg.f/cm2	1,0
II	Suelos intermedios o blandos con capacidad portante admisible > 0.1 Mpa ó 1.02kg.f/cm2	1,4

Tabla Nº 2
Factor de uso (U) y densidad según tipo de edificación

Tipo de Edif caciones	Factor de Uso (U)	Densidad
NT A.030 Hospedaje NT A.040 Educación NT A.050 Salud NT A.090 Servicios comunales NT A.100 Recreación y deportes NT A.110 Transporte y Comunicaciones	1,4	15%
NT A.060 Industria NT A.070 Comercio NT A.080 Oficinas	1.2	12%
Vivienda: Unifamiliar y Multifamiliar Tipo Quinta	1,0	8%

Tabla Nº 3
Coeficiente sísmico por zona sísmica para edificaciones de tierra reforzada

Zona Sísmica	Coef ciente Sísmico (C)
4	0,25
3	0,20
2	0,15
1	0,10

6.9 Se debe evitar el deterioro de las edificaciones de tierra reforzada, causadas por el viento, la lluvia y la humedad, protegiéndolas a través de:

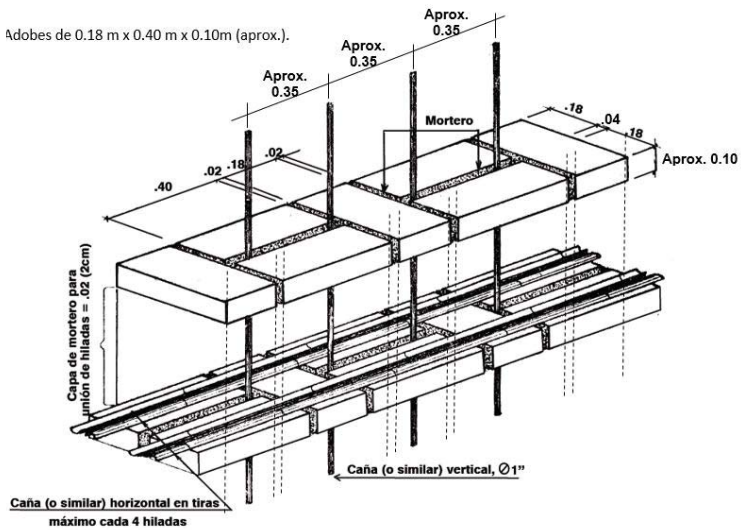
a) Cimientos y sobrecimientos que eviten el humedecimiento del muro.
b) Recubrimientos, revestimientos o enlucidos que los protejan de la lluvia, humedad y viento, y que permitan la evaporación de la humedad del muro.
c) Aleros en el techo que protejan el muro de cualquier contacto con la lluvia. En las zonas bioclimáticas: Nº3 Interandino, Nº4 Mesoandino, Nº5 Altoandino, Nº6 Nevado, Nº 7 Ceja de montaña, Nº8 Subtropical húmedo, Nº9 Tropical húmedo, indicadas en la Norma EM.110 Confort Térmico Lumínico con Eficiencia Energética, se usan aleros no menores de 1 metro de voladizo, adecuadamente anclados y con peso suficiente para no ser levantados por el viento.
d) Veredas perimetrales con pendiente hacia el exterior de la edificación y que permitan la evacuación y evaporación del agua.
e) Sistemas de drenaje adecuado (material granular suelto tipo piedras y gravas, con pendiente y colector inferior, evacuador de agua).
f) En patios interiores, terrazas y otros espacios abiertos se asegura la evacuación y evaporación del agua o humedad depositada en el suelo o piso.

6.10 Para los refuerzos se debe tener en cuenta las consideraciones siguientes:

a) Los muros y contrafuertes de las edificaciones de tierra reforzada deben tener refuerzos.
b) En caso que los refuerzos sean externos a los muros o contrafuertes deben estar embutidos en el enlucido.
c) No deben usarse refuerzos en una sola dirección, pues no logran controlar los desplazamientos y pueden sufrir colapsos parciales. Deben usarse refuerzos en dos direcciones (horizontales y verticales).
d) En todos los casos, el refuerzo horizontal coincide con los niveles inferior y superior de los vanos.
e) Los elementos que conforman los entrepisos o techos de las edificaciones de tierra reforzada, deben estar adecuadamente fijados al muro mediante una viga collar. El refuerzo debe fijarse desde la base del sobrecimiento a la viga collar.
f) En caso se utilice refuerzos de tipo vegetal, geomallas, dinteles y/o mallas de sogas sintéticas, debe considerarse, según sea el caso, como mínimo lo siguiente:

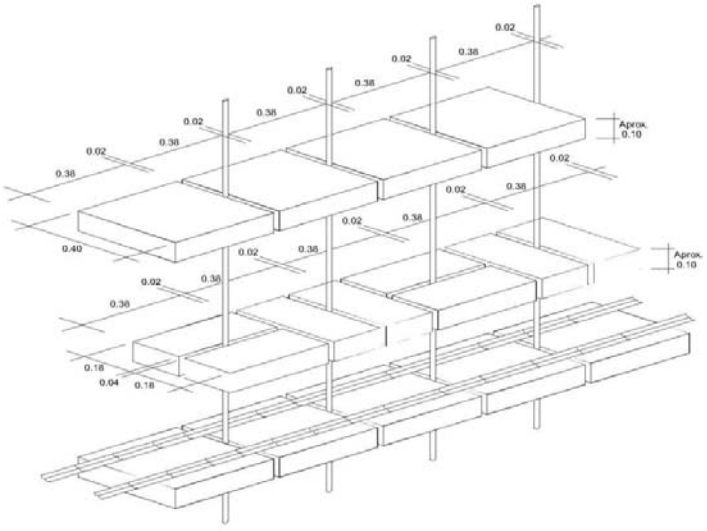
i. Caña carrizo (hueca) o caña brava (sólida), completas, de 25 mm de diámetro aproximado como refuerzo vertical y chancadas tipo carrizo o guadua angustifolia (sin dañarlas) como refuerzo horizontal.
ii. Madera en rollizos o aserrada con diámetros igual o mayores a 25 mm como refuerzo vertical externo y sogas naturales (cabuya o sisal) de mínimo 6 mm de diámetro como refuerzo horizontal externo.
iii. Ramas trenzadas de fibra vegetal, en paquetes de diámetros de 25 mm como refuerzo vertical externo y ramas sueltas trenzadas o sogas como refuerzo horizontal externo, con diámetros mayores a 6 mm.
iv. Sogas de cabuya, sisal o fibras naturales trenzadas formando mallas ortogonales externas, cumpliendo lo especificado en el inciso i, numeral 6.10 del artículo 6 del Capítulo II).
v. Cualquier combinación racional de las anteriores.
vi. Las conexiones de los elementos verticales y horizontales se realizan con cuerdas de nylon o sogas sintéticas, utilizando nudo llano (ver Anexo Nº6, inciso 6.1: Nudos para refuerzos).

Figura 4: Esquemas de refuerzo con caña para adobe
Esquema 1



Nota: Se recomienda colocar refuerzos de cañas (o similares) horizontales cada cuatro hiladas en el tercio inferior de la altura del muro (sea la edificación de 1 o 2 pisos), cada tres hiladas en el tercio central y cada dos hiladas en el tercio superior. Como máximo, cada cuatro hiladas.

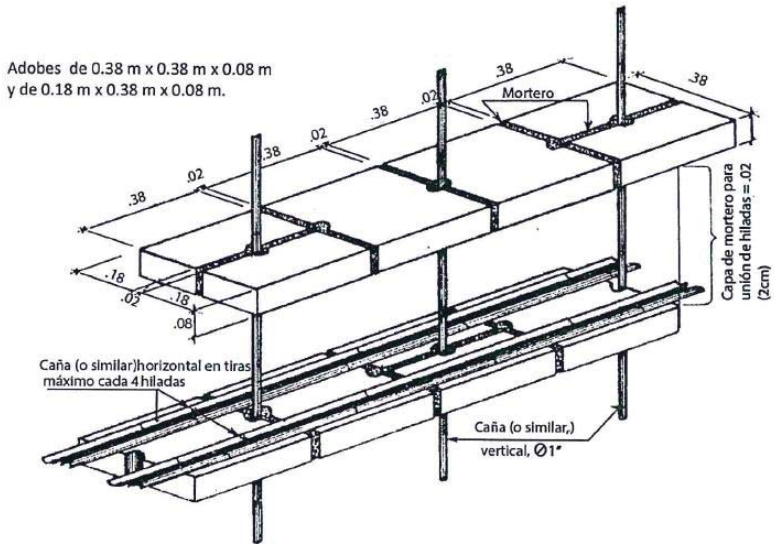
Esquema 2



Para Adobes de 0.38 m x 0.40m x 0.10 m (aprox.) y de 0.18 m x 0.38 m x 0.10 m. (aprox.)

Nota: Colocar refuerzos de cañas (o similares) horizontales cada cuatro hiladas en el tercio inferior de la altura del muro (sea la edificación de 1 o 2 pisos), cada tres hiladas en el tercio central y cada dos hiladas en el tercio superior. Como máximo, cada cuatro hiladas.

Esquema 3



Nota: Colocar refuerzos de cañas (o similares) horizontales cada cuatro hiladas en el tercio inferior de la altura del muro (sea la edificación de 1 o 2 pisos), cada tres hiladas en el tercio central y cada dos hiladas en el tercio superior. Como máximo, cada cuatro hiladas.

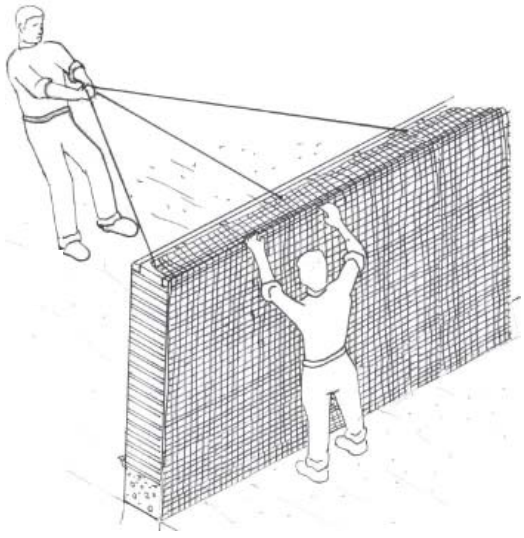
g) En caso se utilice refuerzo de mallas sintéticas de nudos integrados (geomallas), el refuerzo debe ser externo y embutido en el enlucido. La geomalla, constituida por material sintético, debe reunir las características necesarias para ser usada como refuerzo de edificaciones de tierra, tales como:

i. Conformación de retícula rectangular o cuadrada, con o sin diagonales interiores, con abertura máxima de 50 mm. y nudos integrados.
ii. Capacidad mínima de tracción de 3,5 kN/m, (356.9 kgf/m) en ambas direcciones, para una elongación de 2%.
iii. Flexibilidad y durabilidad para su uso como refuerzo embutido en tierra.
iv. Consideraciones de uso:

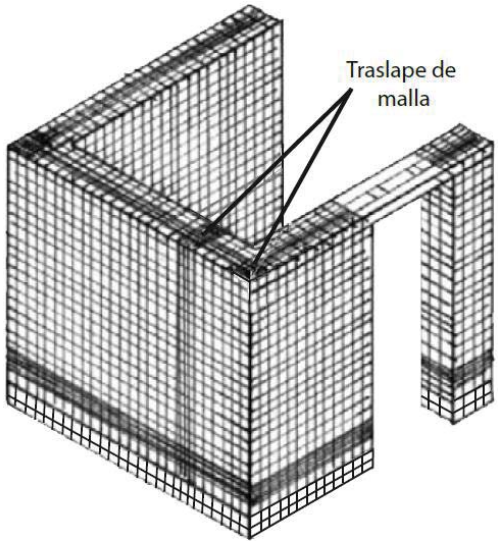
- Los muros portantes y no portantes, incluyendo los vanos, deben envolverse con las geomallas, tensándolas uniformemente. Deben conectarse las geomallas de ambas caras de los muros con cuerdas sintéticas, con una separación máxima de 0.30 m.

- La geomalla debe estar convenientemente anclada a la base del sobrecimiento y a la viga collar superior.
- El uso de otro tipo de mallas, sólo es permitido si acredita su capacidad sismorresistente en ensayos cíclicos a escala natural.

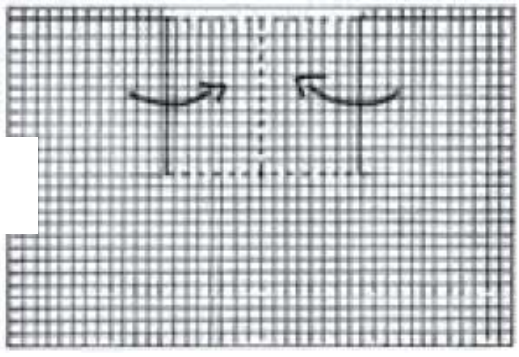
Figura 5: Esquema de colocación de refuerzo con geomalla



1. Colocación de mallas



2. Traslape de mallas.



3. Cortes de mallas en ventanas o puertas.

h) En caso se utilice refuerzos de dinteles, se deben utilizar dinteles flexibles (por ejemplo, paquetes de caña o madera delgada en rollizos, amarradas por cordones o sogas) y amarrarlos a la viga collar.

i) En caso se utilice refuerzos con mallas de sogas sintéticas (driza blanca o similar) se debe tener las consideraciones siguientes:

i. Utilizar diámetros de sogas sintéticas igual o mayores a 5/32" (3.97 mm), salvo las sogas para unir las mallas de ambas caras del muro, cuyo diámetro debe ser mínimo de 1/8" (3.17 mm).

ii. Las mallas de refuerzo deben ser externas al muro y embutidas en el enlucido del mismo, lo que también sirve para la consolidación de construcciones existentes.

iii. Las mallas deben conformarse mediante lazos verticales y horizontales que confinen (envuelvan) el muro. Los lazos de confinamiento vertical deben estar convenientemente anclados a la cimentación y a la viga collar superior.

iv. Las mallas de cada cara del muro deben unirse en cada intersección de los lazos según lo indicado en el Anexo Nº6, inciso 6.1: Nudos para refuerzos, o mediante un método similar comprobado.

v. La separación entre las sogas horizontales debe ser menor a 0.40m en promedio para el tercio inferior a la altura del muro (sea la edificación de uno o dos pisos). Debe ser de 0.30m en promedio para el tercio central y de 0.20m en promedio para el tercio superior (sin coincidir con la junta horizontal). La separación entre las sogas verticales debe ser menor a 0.40m.

vi. El refuerzo horizontal debe coincidir con los niveles inferior y superior de los vanos.

6.11 En caso se desee aplicar lineamientos técnicos diferentes a los indicados en el Capítulo II, artículo 6. Criterios de configuración de las edificaciones de tierra reforzada, se debe sustentar la propuesta mediante métodos racionales y/o experimentales.

Artículo 7.- Sistema estructural para edif caciones de tierra reforzada

El sistema estructural para las edificaciones de tierra debe comprender los componentes siguientes:

7.1 Cimentación

a) El cimiento debe cumplir dos condiciones:

i. Transmitir las cargas hasta un suelo firme de acuerdo a lo indicado por la Norma E.050 Suelos y Cimentaciones.
ii. Evitar que la humedad ascienda hacia los muros de tierra.

b) Cumpliendo las condiciones anteriormente mencionadas, todo cimiento debe tener una profundidad mínima de 0.60 m. (medida a partir del terreno natural) y un ancho mínimo de 0.60 m.

c) Se puede utilizar los tipos de cimentación siguientes:

i. Piedra grande tipo pirca compactada, acomodada con piedras pequeñas.
ii. Concreto Ciclópeo.
iii. Albañilería de piedra con mortero de cemento o cal y arena gruesa.

7.2 Sobrecimiento

a) El sobrecimiento debe cumplir dos condiciones:

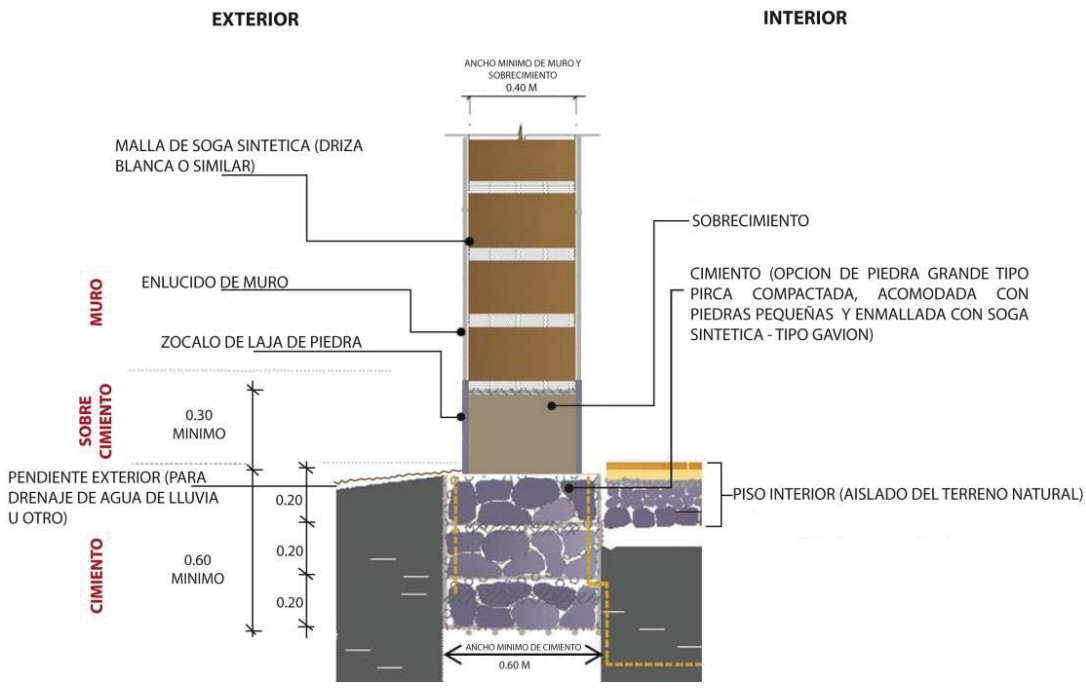
i. Debe transmitir las cargas hasta el cimiento.
ii. Debe proteger el muro ante la acción de la erosión y la ascensión capilar.

b) Cumpliendo tales condiciones, todo sobrecimiento debe elevarse sobre el nivel del terreno no menos de 0.30 metros y tener un ancho mínimo de 0.40 metros.

c) Se pueden utilizar los tipos de sobrecimiento siguientes:

i. Albañilería de piedra con mortero de cemento o cal y arena gruesa
ii. Concreto ciclópeo

Figura 6. Esquema de cimentación



7.3 Muros

Los muros son los elementos más importantes en la resistencia, estabilidad y comportamiento sísmico de la estructura de una edificación de tierra reforzada. El diseño de los muros debe realizarse usando criterios basados en la resistencia, estabilidad y desempeño, complementariamente.
Los tímpanos deben ser del material similar al usado en los techos (madera, caña, fibra vegetal, entre otros) para que sean ligeros, más estables y fácilmente conectables con los techos.
Es posible utilizar muros curvos o muros para plantas poligonales, lo cual podría significar formas de adobe especial; si se usan adobes cuadrados o rectangulares, las juntas verticales no deben exceder de 30 mm en su parte más ancha. En la técnica del tapial se puede utilizar moldes circulares.

a) Todos los muros curvos deben ser igualmente reforzados como el caso de los muros rectos y deben tener viga collar superior curva o poligonal.
b) Los muros con radios mayores a 3.00 m. se deben considerar como muros rectos para la colocación y distanciamiento de arriostres verticales, así como limitaciones de esbelteces, según lo indicado en la presente Norma.
c) Para radios comprendidos entre 1.25 m y 3.00 m, deben existir muros transversales o arriostres verticales cada 12e del muro como máximo (es decir, doce veces el espesor del muro como máximo) y la esbeltez vertical (h/e) no debe ser mayor a 10.
d) Los muros con radios menores a 1.25 m, no requieren limitaciones de arriostres verticales.

7.3.1 Criterios para el diseño de muros basado en la resistencia

a) El diseño de muros basado en la resistencia, debe considerar el área resistente de muros frente a la fuerza sísmica horizontal en su plano, teniendo en cuenta las consideraciones siguientes:

   i. Las construcciones de tierra normalmente no tienen diafragmas horizontales rígidos a nivel de los techos y por tanto los desplazamientos de los muros paralelos son independientes.
   ii. Calculadas las áreas tributarias asociadas a cada muro, en cada nivel si es el caso, es posible calcular fuerzas horizontales de diseño. Estas no deben sobrepasar los esfuerzos resistentes admisibles de corte en ellos (Ver Capítulo II, artículo 8: Esfuerzos de rotura mínimos. Ensayos de laboratorio).
   iii. Para estos efectos, al área transversal del muro (largo por espesor), se puede añadir una fracción de los muros transversales o de arriostre, se trate de encuentros en “T” o en “L”, en ambos extremos del muro. Esta área adicional no debe ser mayor al 20 % del área del muro.

b) El diseño sísmico de muros en la dirección perpendicular a su plano.

   i. De acuerdo al número de apoyos de cada muro, que es función de los arriostres verticales, se calcula el esfuerzo de flexión del muro producido por fuerzas sísmicas perpendiculares a su plano considerando

el comportamiento elástico del material tierra. Dichos esfuerzos no deben sobrepasar los esfuerzos admisibles a tracción por flexión (Ver Capítulo II, artículo 8: Esfuerzos de rotura mínimos. Ensayos de laboratorio).

ii. La viga collar tiene como misión mantener conectados los muros entre sí durante un sismo, pero no debe considerarse como un apoyo para los muros salvo que exista un diafragma de entrepiso de madera o una estructura horizontal especial. Por tanto, en general los muros deben tener dos o tres apoyos, considerando también el piso.

7.3.2 Criterios para el diseño de muros basado en la estabilidad

El diseño de muros basado en la estabilidad, debe respetar los límites de grosor, esbeltez vertical y esbeltez horizontal, altura máxima, distancia entre arriostres verticales, aberturas, indicados en esta norma. Ver Figura 2.

7.3.3 Criterios para el diseño de muros basado en el desempeño

En el diseño de muros basado en el desempeño, debe colocarse refuerzos en las conexiones, viga collar superior, dinteles flexibles, refuerzos ortogonales en muros (Ver Capítulo II, artículo 6, inciso 6.10).

7.4 Entrepisos y techos

a) Los techos deben ser livianos, distribuyendo su carga en la mayor cantidad posible de muros, evitando concentraciones de esfuerzos en los muros. Además, deben estar adecuadamente fijados a los muros a través de la viga solera.
b) Deben estar construidos mediante entramados de madera, caña o fibras vegetales, o tijerales, o diseñados para resistir las cargas verticales y para transmitir las cargas horizontales (sísmicas) a todos los muros, a través de las vigas collares superiores.
c) Los tijerales no deben crear empujes horizontales a los muros. Para evitarlo, debe utilizarse tensores horizontales inferiores.
d) Se debe lograr que un techo plano actúe como un diafragma rígido añadiéndole elementos diagonales en el plano. Si el techo no es un diafragma rígido, no se le puede considerar apoyo superior de los muros, para el diseño de éstos.
e) Los techos pueden ser inclinados (una o varias aguas).
f) En el diseño de los techos se debe considerar las pendientes, las características de impermeabilidad, aislamiento térmico y longitud de los aleros de acuerdo a las condiciones climáticas de cada lugar.
g) En el caso de utilizar tijerales, el sistema estructural del techo debe garantizar la estabilidad lateral de los tijerales.

7.5 Arriostres

Para que un muro se considere arriostrado debe existir suficiente adherencia o anclaje entre éste y sus elementos de arriostre. Para garantizar una adecuada transferencia de esfuerzos, los elementos de arriostre deben ser horizontales y verticales.

a) Arriostres horizontales

i. Son elementos o conjunto de elementos que deben poseer una rigidez suficiente en el plano horizontal para impedir el libre desplazamiento lateral de los muros.
ii. Los elementos de arriostre horizontal más comunes son los pisos y entrepisos de madera con elementos diagonales, se deben diseñar como apoyos del muro arriostrado, considerándose al muro como una losa vertical sujeto a fuerzas horizontales perpendiculares a éste.
iii. Se debe garantizar la adecuada transferencia de esfuerzos entre el muro y sus arriostres, los que deben conformar un sistema continuo e integrado.

b) Arriostres verticales

Los arriostres verticales son muros transversales o contrafuertes especialmente diseñados, que deben tener una adecuada resistencia y estabilidad para transmitir fuerzas cortantes a la cimentación. Para que un muro o contrafuerte se considere como arriostre vertical debe cumplir con lo indicado en la Figura 2.

7.6 Refuerzos y conexiones

a) La conexión entre el muro y la cimentación, debe realizarse uniendo las mallas de refuerzo de los muros al sobrecimiento.
b) La conexión entre el muro y el techo, debe realizarse amarrando los muros y vigas collares con las mallas de refuerzo de los muros y luego clavando o amarrando las vigas collares a las vigas principales o tijerales del techo.
c) Los refuerzos deben cumplir lo indicado en el numeral 6.10 del artículo 6.

Artículo 8.- Esfuerzos de rotura mínimos. Ensayos de laboratorio.

8.1 Los ensayos de laboratorio de esfuerzos de rotura mínimos para medir la Resistencia del material tierra a la compresión (ensayo de compresión en cubos) se realiza conforme al procedimiento siguiente:

a) La resistencia se mide mediante el ensayo de compresión del material en cubos de 0.1 m de arista.
b) La resistencia última se calcula conforme a la expresión siguiente: $f_o = 1.0MPa = 10.2\ kgf/cm^2$
c) Los cubos de adobes o muestras de tapial deben cumplir con que el promedio de las cuatro mejores muestras (de seis muestras) sea igual o mayor a la resistencia última indicada.
d) En el caso del tapial, de no existir muestras secas, se recomienda elaborar muestras comprimidas en moldes de 0.1 x 0.1 x 0.15 m. con 10 golpes de un mazo de 5 kg de peso.

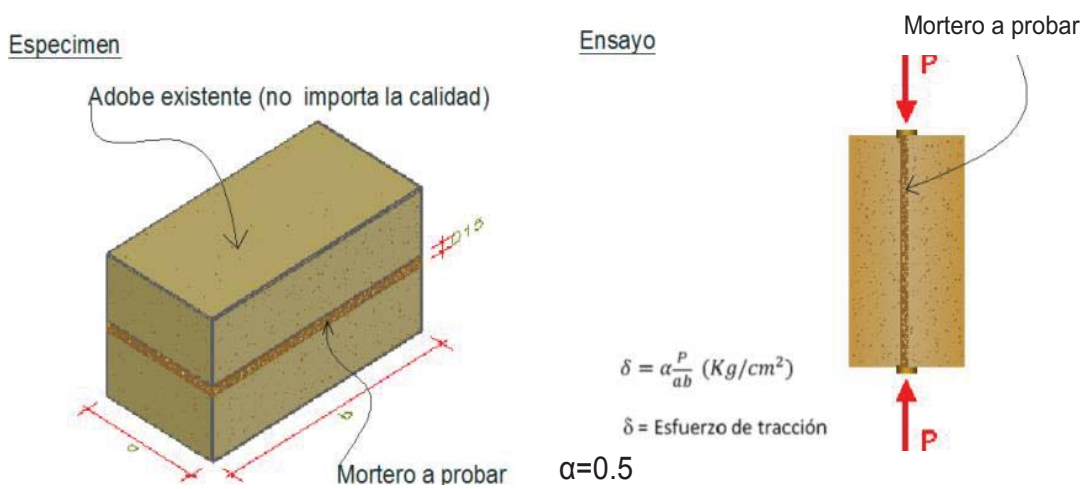
8.2 Los ensayos de laboratorio de esfuerzos de rotura mínimos para medir la Resistencia del material tierra a la tracción, se realiza conforme al procedimiento siguiente:

a) La resistencia se debe medir mediante el ensayo brasileño de tracción, en cilindros de 6" x 12" o 15.24 cm x 30.48 cm de diámetro y largo.
b) La resistencia última es de 0.08MPa = 0.81 kgf/cm^2.
c) Las muestras deben tener humedad inicial de 20 % a 25 % para control de adobes y 10 % a 15 % para control de tapial, y un secado cubierto de sol y viento de 28 días, debiendo cumplir con que el promedio de las cuatro mejores muestras (de seis muestras) sea igual o mayor a la resistencia última indicada.

8.3 Los ensayos de laboratorio de esfuerzos de rotura mínimos para medir la Resistencia del mortero a la tracción, se realiza conforme al procedimiento siguiente:

a) La resistencia se debe medir mediante el ensayo de morteros a tracción indirecta, en probetas de dos adobes unidos por mortero de barro con o sin aditivos naturales, sujetos a compresión de manera similar al ensayo brasileño.
b) La resistencia última es de 0.012 MPa = 0.12 kgf/cm^2.
c) Se debe cumplir con que el promedio de las cuatro mejores muestras (de seis muestras) sea igual o mayor a la resistencia última indicada.

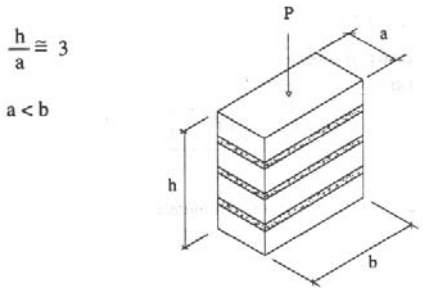
Figura 7. Ensayo de resistencia del mortero a la tracción



8.4 Los ensayos de laboratorio de esfuerzos de rotura mínimos para medir la Resistencia del murete a la compresión, se realiza conforme al procedimiento siguiente:

a) La resistencia última es de 0.6 MPa = 6.12 kgf/cm^2.
b) El ensayo de compresión en muretes de adobe o tapial de altura igual a tres veces la menor dimensión de la base (aproximadamente).
c) Se debe cumplir con que el promedio de las cuatro mejores muestras (de seis muestras) sea igual o mayor a la resistencia última indicada, después de 28 días de secado.

Figura 8. Ensayo de Compresión. Muretes de adobe o tapial



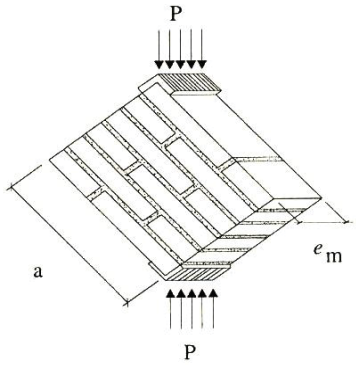
$f_m^{'}$ = Esfuerzo de compresión admisible del murete = P / a x b $f_m = 0{,}40\ f_m^{'}$

Esfuerzo admisible de compresión por aplastamiento = $1{,}25\ f_m$

8.5 Los ensayos de laboratorio de esfuerzos de rotura mínimos para medir la Resistencia del murete a la tracción indirecta, se realiza conforme al procedimiento siguiente:

a) La resistencia última es de 0.025 MPa = 0.25kgf/cm2.
b) El ensayo de compresión diagonal o tracción indirecta de muretes de adobe o tapial de aproximadamente 0,65 m. x 0.65 m. x e_m.
c) Se debe cumplir con que el promedio de las cuatro mejores muestras (de seis muestras) sea igual o mayor a la resistencia última indicada, después de 28 días de secado.

Figura 9. Ensayo de compresión diagonal o tracción indirecta



$$f_t^{'} = \frac{p}{2ae_m}$$

Esfuerzo admisible de corte $v_m = 0{,}4\ f_t^{'}$

8.6 La resistencia de muros a tracción por flexión, tiene una resistencia última[1] 0.14 MPa = 1.42 kgf/cm^2.
8.7 Mientras no se cuente con resultados de ensayos experimentales para el módulo de elasticidad de los muros de tierra, se usa el valor de 200 MPa = 2040 kgf/cm^2.
8.8 Para la resistencia de las cañas, se considera:

a) Guadua: Resistencia última 100 MPa = 1020 kgf/cm^2.
b) Carrizo o Caña Brava: Resistencia última 40 MPa = 408 kgf/cm^2.

8.9 Para la resistencia de las sogas sintéticas (drizas), la resistencia última es de 120 MPa = 1200 kgf/cm^2.

Se debe cumplir que el promedio de las cuatro mejores muestras (de seis muestras) sea igual o mayor a la resistencia última indicada. La resistencia se calcula como el cociente entre la fuerza de rotura del ensayo a tracción y el área transversal, considerando el diámetro nominal de la driza. El diámetro nominal es el nombre por el cual se define a la driza.
El valor indicado de la resistencia corresponde a las drizas de color blanco. Se pueden utilizar drizas de otros colores considerando dos drizas de colores para remplazar una driza blanca.
El coeficiente de seguridad de las drizas debe ser de 2.5 para considerar cargas admisibles.

Artículo 9.- Esfuerzos admisibles

Los esfuerzos admisibles se deben calcular tomando un coeficiente de seguridad de 2.5 por variación de calidad en material, calidad de ejecución y evaluación de las cargas. En caso de no realizar los ensayos de laboratorio se considera un coeficiente de seguridad de 3.

[1] La resistencia última de muros a tracción por flexión no está normalizada para ensayos de laboratorio. Para diseño de muros de tierra a flexión se puede considerar el valor indicado.

Artículo 10.- Requisitos para las instalaciones eléctricas en edif caciones de tierra reforzada

10.1 En las instalaciones eléctricas al exterior de la edificación, como los postes de soporte en la vía o espacio público deben estar bien cimentados y ser rígidos.

10.2 En las instalaciones eléctricas al interior de la edificación, se considera lo siguiente:

a) Los cables deben estar protegidos mediante fundas tipo tuberías o canaletas (de madera o material sintético no inflamable).

b) Las tuberías y/o canaletas de los cables no deben estar embutidos en la pared o enlucido. Sólo en los casos de trayectorias verticales en muros, la tubería o canaleta puede quedar a ras, semiembutida entre el enlucido final y la malla de refuerzo si fuera el caso, y ser fácilmente localizable, para evitar accidentes en futuros clavados externos (cuadros, perchas, etc.).

c) Las tuberías, canaletas u otro elemento de la instalación eléctrica no deben fijarse directamente a la pared de tierra sino a vigas o marcos de madera (por ejemplo, a través de clavos o pernos).

d) Los interruptores y los tomacorrientes deben ser exteriores o semiembutidos en los muros (entre el enlucido final y la malla de refuerzo, si fuera el caso), pero deben fijarse en marcos, zócalos o piezas de madera.

Artículo 11.- Requisitos para las instalaciones sanitarias en edif caciones de tierra reforzada

11.1 Los ambientes que incluyen instalaciones sanitarias, deben tener pisos inclinados con rejilla colectora y desagüe hacia el exterior.

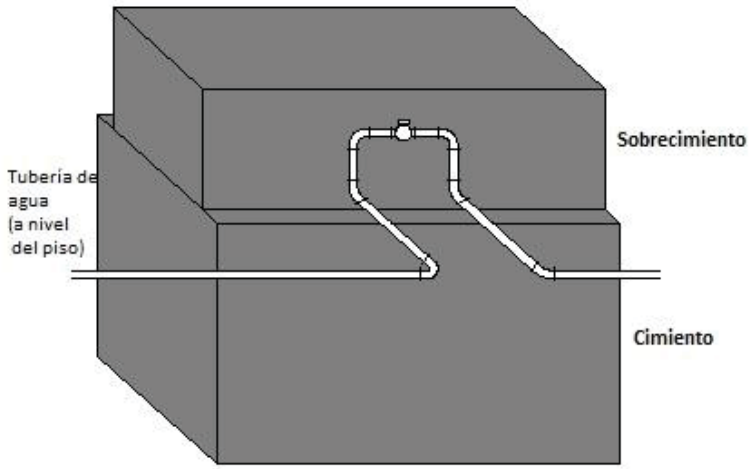
11.2 El muro debe protegerse con zócalos, contra zócalos o similares revestimientos en las partes que puedan humedecerse por salpicar agua producto del uso normal.

11.3 Las áreas húmedas de los servicios higiénicos, cocina y lavandería deben estar separadas y aisladas de los muros de tierra reforzada mediante paneles sanitarios (bastidores de madera, caña, ladrillo, piedra u otro material conveniente) enchapados adecuadamente (con tejas planas de madera, piso con baldosas, cortinas o forros impermeables, entre otros).

11.4 No deben ubicar instalaciones sanitarias dentro de los muros de tierra. Los tramos horizontales pueden ir empotrados en el piso (primer nivel) o colgados del entrepiso. Los tramos verticales deben ir adosados y aislados del muro. En caso de montantes deben ir en ductos.

11.5 Las válvulas deben instalarse en el sobrecimiento, si es necesario éste debe tener mayor altura como se indica en la Figura 10.

Figura 10: Esquema de la posición en la instalación de las válvulas



CAPÍTULO III
CONSTRUCCIÓN DE EDIFICACIONES DE TAPIAL REFORZADO

Artículo 12.- Condiciones de la tierra a utilizar

Se debe validar las características de la tierra a utilizar para construir con tapial, en el siguiente orden:

12.1 Suficiente presencia de arcilla, mediante las pruebas indicadas en el Anexo Nº 1: Prueba “Cinta de barro“ y Anexo 2: Prueba “Presencia de Arcilla” o “Resistencia seca”.

12.2 Equilibrio de arcilla y arena gruesa, mediante la prueba indicada en el Anexo 4: Prueba de “Control de Fisuras” o “Dosificación con suelo-arena Gruesa”.

12.3 Máximo contenido de humedad, mediante la prueba indicada en el Anexo Nº 3: Prueba “Contenido de humedad” para la construcción con tapial.

12.4 En los suelos arcillosos se debe usar paja de aproximadamente 50 mm de largo en proporción de 1 volumen de paja por 5 de tierra, lo que ayuda al control de fisuras y resistencia. Esta proporción debe ser verificada en el inicio de la obra para evitar el rebote del mazo durante la compactación.
12.5 Su resistencia debe cumplir lo indicado en el numeral 8.1 u 8.2 del artículo 8.

Artículo 13.- Unidades de tapial y encofrado

Las unidades de tapial deben tener las siguientes dimensiones: ancho mínimo: 0.40 m., altura máxima: 0.60 m, longitud máxima: 1.50 m y el espesor mínimo de la madera de encofrado debe ser de 20 mm, con refuerzos exteriores horizontales y verticales, para evitar deformaciones excesivas.

Artículo 14.- Fabricación de la unidad de tapial

Cada unidad de tapial se debe fabricar en capas de tierra de 0.15 m. de altura máxima, compactándolas hasta llegar a una altura de 0.10 m. aproximadamente (por cada capa), siguiendo el procedimiento siguiente:

a) La compactación se realiza con un mazo de madera de alrededor de 10 kgf.
b) Una vez finalizada la compactación de todas las capas que conforman la unidad de tapial, ésta se debe picar en la cara superior de la última capa (superficie endurecida) un máximo de 0.01 m (un centímetro) e inmediatamente se debe de humedecer la misma antes de empezar con el vertido de la primera capa de tierra de la siguiente unidad de tapial.
c) Las juntas de avance de las unidades para conformar las hiladas deben realizarse inclinadas (pendiente cercana a 45º según lo indicado en el Anexo Nº 5: Recomendaciones para las juntas de avance en la técnica del tapial reforzado).

Artículo 15.- Protección de las hiladas de tapial

Para proteger las hiladas de tapial, se toman las consideraciones siguientes:

15.1 Es necesario un secado lento para evitar la fisuración.
15.2 Se recomienda retirar los encofrados de cada hilada luego de siete días de haber finalizado todo el apisonado (no menor a tres días).
15.3 Cubrir la hilada en trabajo y la hilada anterior con paños húmedos (yute o similares) al menos por siete días adicionales.
15.4 Las hiladas finalizadas, deben protegerse de la exposición directa a los rayos del sol y del viento (por ejemplo, mediante castillos temporales de esteras o mantas), para un secado lento, manteniendo la humedad y evitando el agrietamiento.
15.5 No se debe construir en época de lluvia.

Artículo 16.- Reforzamiento

Las edificaciones de Tapial reforzado deben cumplir con lo indicado en el artículo 6 de la presente Norma.

CAPÍTULO IV
CONSTRUCCIÓN DE EDIFICACIONES DE ADOBE REFORZADO

Artículo 17.- Condiciones de la tierra a utilizar

17.1 Una vez comprobada la presencia de arcilla de un suelo mediante la prueba “Cinta de barro” (ver Anexo Nº1) y la prueba “Presencia de arcilla” o “Resistencia seca” (ver Anexo Nº2), es necesario equilibrarla u optimizarla para que se controlen o eviten las fisuras de secado y se mejore la resistencia seca. Su resistencia debe cumplir lo indicado en los numerales 8.1 o 8.2 y 8.3 del artículo 8.
17.2 Con el control de fisuras mediante la adición de paja, se controla el agrietamiento del adobe y del mortero durante el secado con paja o fibras similares.
17.3 En ausencia de paja, para el control del agrietamiento se debe utilizar arena gruesa. Para verificar la combinación de arcilla y arena gruesa se realiza la prueba indicada en el Anexo Nº 4: Prueba de “Control de fisuras” o “Dosificación suelo-arena gruesa”.
17.4 Es importante controlar adecuadamente el contenido de humedad, para evitar o disminuir las fisuras de secado. En general, debe utilizarse la menor cantidad de agua que logre activar la arcilla existente, para alcanzar la máxima resistencia seca de los muros.
17.5 La cantidad de agua requerida para moldear las unidades de adobe, no debe pasar del 20% respecto al peso del contenido seco.

Artículo 18.- Calidad, preparación, formas y dimensiones del adobe

18.1 Debe recurrirse a las pruebas de campo para confirmar la presencia suficiente de arcilla y conocer la combinación adecuada de arcilla y arena gruesa realizando lo indicado en los Anexos Nºs. 1, 2 y 4 de la presente Norma.

18.2 Se debe cernir la tierra antes de preparar el barro y luego someterla a un proceso de hidratación sostenida por lo menos 48 horas (Ver definición de dormido en el numeral 12 del artículo 3 de la presente Norma).
18.3 El secado del bloque de adobe debe ser lento, para lo cual se realiza sobre tendales protegidos del sol y del viento. Sobre el tendal (que no debe ser de pasto, ni empedrado, ni de cemento) se debe espolvorear arena fina para eliminar restricciones durante el encogimiento de secado.
18.4 El bloque de adobe terminado debe estar libre de materias extrañas, grietas u otros defectos que puedan degradar su resistencia o durabilidad.
18.5 El bloque de adobe puede ser de planta cuadrada o rectangular y en el caso de encuentros, de formas especiales, pueden tener ángulos diferentes de 90º.
18.6 El bloque de adobe cuadrado no debe sobrepasar los 0.40 m. de lado, por razones de peso.
18.7 El bloque de adobe rectangular debe tener un largo igual a dos veces su ancho.
18.8 La altura del bloque de adobe debe medir entre 0.08 m y 0.12 m.

Artículo 19.- Calidad, preparación y espesor del mortero.

19.1 Se deben remojar los bloques de adobes antes de asentarlos, durante 15 a 30 segundos.
19.2 La humedad del mortero no debe pasar el 20 %, para evitar el agrietamiento. La cantidad de agua es la menor posible para disminuir las probabilidades de agrietamiento.
19.3 La proporción entre paja cortada y tierra en volumen puede variar entre 1:1 y 1:2.
19.4 Si la paja es escasa, se debe usar arena gruesa. La proporción a utilizar se debe hacer de acuerdo a la prueba de campo indicada en el Anexo Nº 4: Prueba de "Control de Fisuras" o "Dosificaciones suelo-arena gruesa ".
19.5 El espesor de los morteros pueden variar de 5 mm a 20 mm. Solo para el tipo de muro indicado en el Esquema 1 de la Figura 4 puede utilizarse un espesor de 40 mm según se muestra en el aparejo correspondiente. Para muros curvos, ver numeral 7.3 del artículo 7 de la presente Norma.
19.6 Se debe evitar el secado violento de la albañilería mediante la protección del sol y del viento.
19.7 Se debe evitar que el muro se divida en dos por juntas verticales continuas, sean estas longitudinales o transversales.

Artículo 20.- Reforzamiento

Las edificaciones de adobe reforzado deben cumplir con lo indicado en el artículo 6 de la presente Norma.

CAPÍTULO V
OBRAS PATRIMONIALES DE TIERRA

Artículo 21.- Consideraciones para la intervención técnica en una obra patrimonial de tierra.
Los trabajos de restauración, recuperación, rehabilitación, protección, reforzamiento y/o mejoramiento de bienes inmuebles integrantes del Patrimonio Cultural de la Nación construidos con tierra, deben incluirse en un Plan de Intervención, el cual desarrolla soluciones técnicas, que cumplan con las siguientes consideraciones:

21.1 Garanticen la vida de los ocupantes y protejan los bienes culturales existentes en su interior.
21.2 Aumenten la durabilidad de la construcción tradicional aplicando tecnología moderna y diseños basados en el desempeño (refuerzos).
21.3 Mantengan las técnicas y los materiales tradicionales de mayor valor, hasta donde sean adecuados, destacando su valor científico e histórico.
21.4 Conserven la autenticidad cultural original limitando la intervención al mínimo necesario.
21.5 Utilicen refuerzos compatibles y reversibles para preservar los materiales originales según las condiciones climáticas y que no perjudiquen el material original durante la ocurrencia de sismos (golpeándolos, agrietándolos o deformándolos, por diferencia de dureza o rigidez).
21.6 Permitan trabajos de mantenimiento y conservación futura.
21.7 Conserven la documentación técnica sobre las intervenciones, a cargo de las entidades competentes para facilitar el acceso al archivo sobre los trabajos de intervención realizadas.

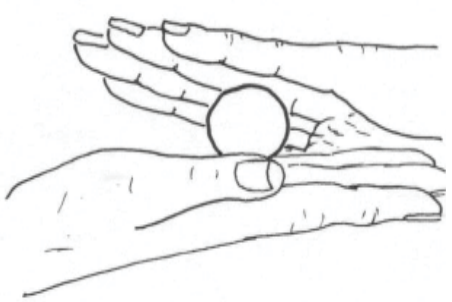
ANEXOS

ANEXO Nº 1. Prueba "Cinta de barro"

Para tener una primera evaluación de la existencia de arcilla en un suelo se puede realizar la prueba "Cinta de barro" (en un tiempo aproximado de 10 minutos).
Utilizando una muestra de barro con una humedad que permita hacer un cilindro de 12 mm de diámetro, colocado en una mano, aplanar poco a poco entre los dedos pulgar e índice, formando una cinta de 4 mm de espesor y dejándola descolgar lo más que se pueda. Si la cinta alcanza entre 20 cm y 25 cm de longitud, el suelo es muy arcilloso. Si se corta a los 10 cm o menos, el suelo tiene poco contenido de arcilla.

ANEXO Nº 2. Prueba "Presencia de arcilla" o "Resistencia seca"

2.1. Formar cuatro *bolitas* con tierra de la zona. Utilizar la tierra de la zona que se considera apropiada para emplearla como material de construcción y agregarle una mínima cantidad de agua para hacer cuatro bolitas (ver imagen adjunta). La cantidad de agua es la mínima necesaria para formar sobre las palmas de las manos cada una de las bolitas, sin que éstas se deformen significativamente a simple vista, al secarse.



2.2 Dejar secar las cuatro *bolitas*.
Las cuatro bolitas deben dejarse secar por 48 horas, asegurando que no se humedezcan o mojen por lluvias, derrames de agua, etc.

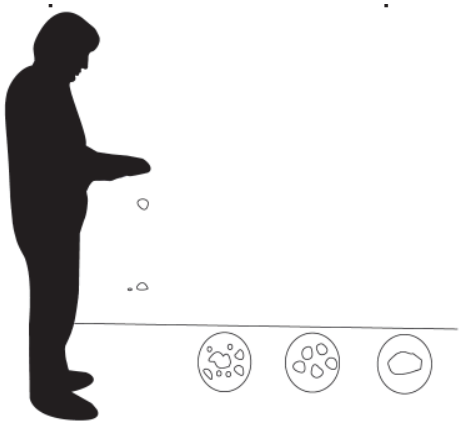
2.3. Presionar las cuatro bolitas secas.
Una vez transcurrido el tiempo de secado, se debe presionar fuertemente cada una de las bolitas con el dedo pulgar y el dedo índice de una mano (ver imagen adjunta). En caso que luego de la prueba, se quiebre, rompa o agriete al menos una sola bolita se debe volver a formar cuatro bolitas con los mismos materiales y dejando secar en las mismas condiciones anteriores.

La prueba debe ser realizada por un adulto que participe en la construcción.

2.4. Luego del tiempo de secado, se debe repetir la prueba.
Si se vuelve a romper, quebrar o agrietar, se debe desechar la cantera de suelo donde se ha obtenido la tierra. Salvo que se mezcle con arcilla o suelo muy arcilloso.
En caso, que luego de la prueba no se rompa, no se quiebre o no se agriete ninguna de las cuatro bolitas, dicha cantera puede utilizarse como material de construcción.

ANEXO Nº 3. Prueba "Contenido de humedad" para la construcción con tapial.

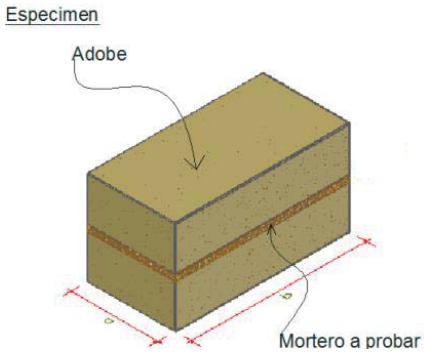
3.1 Formar una bola con tierra de la zona del tamaño de un puño y comprimirla fuertemente. Soltarla a un suelo firme y plano desde una altura de 1.10 m.
3.2 Si la bola se desintegra en el piso, el suelo es demasiado seco.
3.3 Si la bola de tierra se rompe en 5 pedazos o más, el contenido de humedad es correcto.
3.4 Si la bola se aplasta sin desintegrarse, el contenido de humedad es demasiado alto.



ANEXO Nº 4. Prueba de “Control de f suras” o “Dosif cación suelo - arena gruesa”

4.1 Se preparan especímenes de prueba (emparedados de dos adobes existentes unidos por morteros nuevos).
Los morteros deben tener la mínima cantidad de agua necesaria para una mezcla trabajable.

4.2 En la preparación de los diferentes especímenes, el mortero va aumentar la cantidad de arena gruesa en cada muestra y la cantidad de agua necesaria, empezando por una proporción de una (01) parte de suelo y cero (0) partes de arena gruesa, es decir, una proporción 1:0.



4.3 Para el segundo espécimen, una parte de suelo y ½ parte de arena gruesa, es decir, una proporción de 1: ½.

4.4 En el siguiente espécimen, una parte de suelo y otra de arena gruesa, es decir, 1: 1, y así sucesivamente hasta la proporción 1: 3.

4.5 Luego de secarlos por 48 horas, se abren los especímenes en el mismo orden, para observar el agrietamiento del mortero.

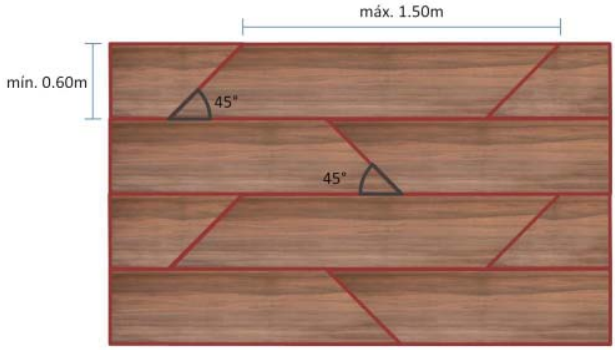
4.6 Para la albañilería de adobe, la proporción óptima es la que corresponde al espécimen que no presente fisuras visibles.

4.7 Si el suelo, teniendo suficiente presencia de arcilla, no muestra fisuras en ningún espécimen, significa que no requiere añadirle arena gruesa, porque ya está equilibrado.

ANEXO Nº 5

RECOMENDACIONES PARA LAS JUNTAS DE AVANCE EN LA TÉCNICA DEL TAPIAL REFORZADO

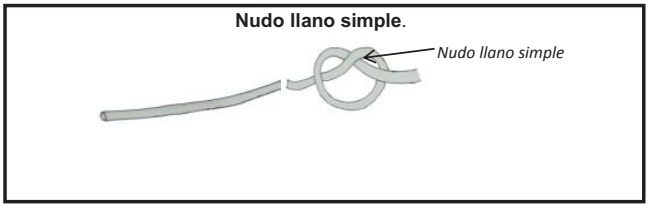
Imagen que muestra las juntas de avance, inclinadas a 45º aproximadamente. Esta solución evita el uso de la tapa terminal y adelgaza la junta de llenado por acción de la gravedad.

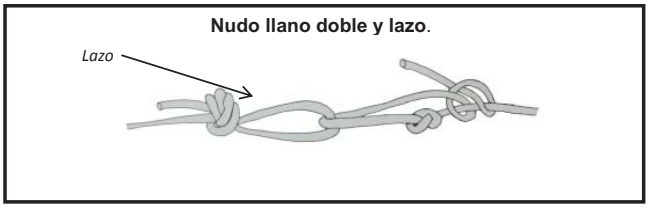


ANEXO Nº 6

RECOMENDACIONES PARA EL AJUSTE DE LAZOS VERTICALES Y HORIZONTALES PARA LOS REFUERZOS CON MALLAS DE SOGAS SINTÉTICAS

6.1 NUDOS PARA REFUERZOS

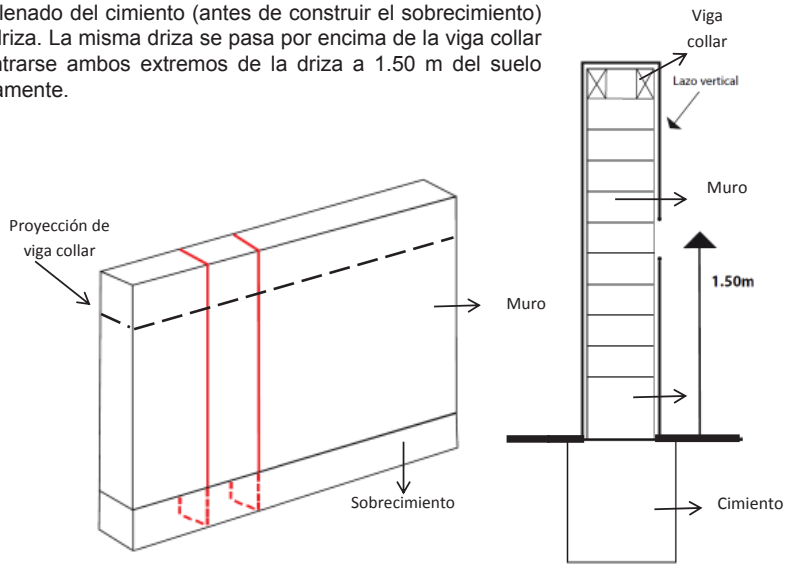




6.2 RECOMENDACIONES GENERALES PARA EL AJUSTE DE LAZOS VERTICALES Y HORIZONTALES PARA LOS REFUERZOS CON MALLAS DE SOGAS SINTÉTICAS

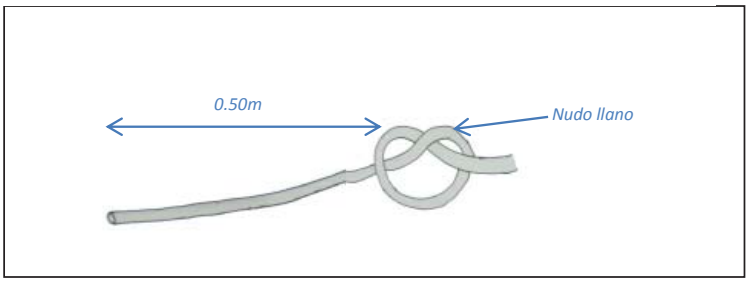
Debe envolverse el muro mediante lazos verticales. Cada lazo vertical debe pasar por el fondo o base del sobrecimiento y sobre la viga collar. Tensar y anudar. Conviene que cada lazo vertical pase por la junta (mortero) vertical. Ambos extremos de la soga sintética se amarran.

a) Luego del llenado del cimiento (antes de construir el sobrecimiento) se deja la driza. La misma driza se pasa por encima de la viga collar para encontrarse ambos extremos de la driza a 1.50 m del suelo aproximadamente.

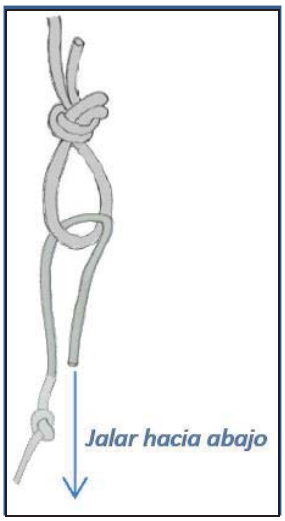


b) Con la punta de la driza superior (que cuelga) debe hacerse una U y formar un nudo de dos cordones para crear un lazo, de la forma que se muestra en, Anexo Nº 6, inciso 6.2, literal d).

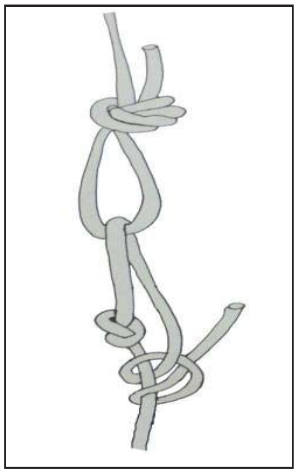
c) En la driza inferior debe hacerse un nudo llano a 0.50 m de su extremo.



d) La driza inferior se pasa a través del lazo superior y se jala hacia abajo, ayudándose con el propio peso del operario.



e) Mantener la tensión con la mano más hábil y con la otra mano apretar el lazo contra el muro donde la driza inferior pasa por el lazo.

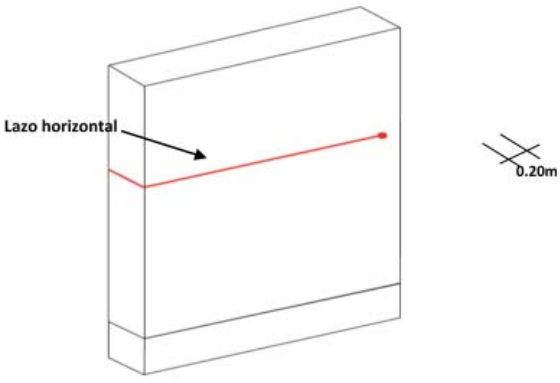


f) Finalmente, con la mano hábil hacer tres (03) nudos llanos debajo del nudo hecho en el literal c) numeral 6.2 del Anexo Nº 6, y soltar.

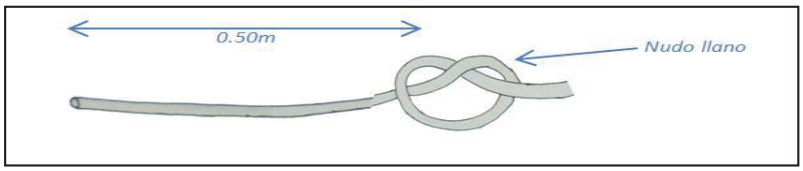
6.3 **AJUSTE HORIZONTAL PARA REFUERZOS CON MALLAS DE SOGAS SINTÉTICAS**

Luego de haber tensado y anudado cada una de las drizas verticales del muro, debe envolverse el mismo muro mediante lazos horizontales. Cada lazo horizontal debe pasar por un orificio realizado al muro o contrafuerte perpendicular a este. En caso que existan vanos, los lazos deben envolver el muro por los derrames de dichos vanos. Tensar y anudar ambos extremos. Cada lazo horizontal debe pasar por la mitad de cada adobe (no por la junta horizontal).

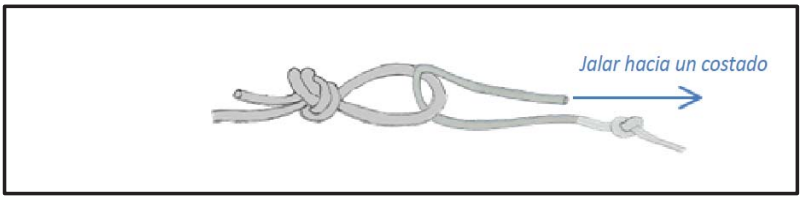
a) La driza rodea el muro horizontalmente (para ello, en las esquinas debe perforarse el muro trasversal o contrafuerte perpendicular a este con un taladro para poder pasar las drizas y hacer un lazo en unos de los extremos y acercarlo a 0.20 m a uno de los bordes (aristas) del muro.

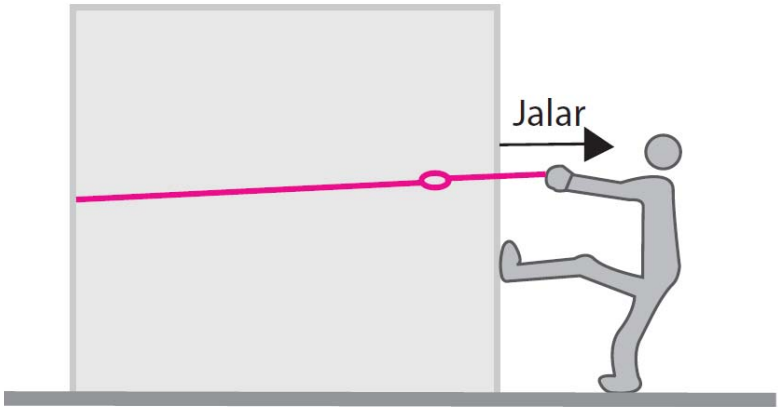


b) Realizar en el otro extremo un nudo llano a 0.50 m de su extremo.

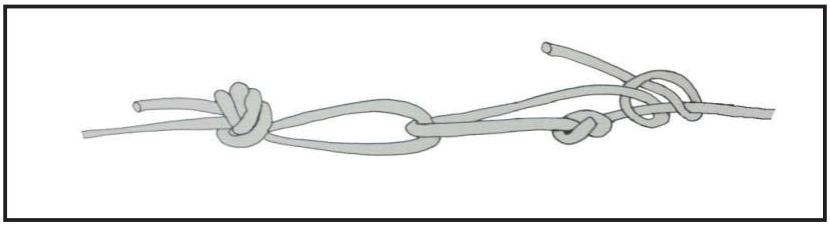


c) Pasar la driza con nudo a través del lazo y ejercer tensión, pudiendo apoyarse con un pie en el muro.





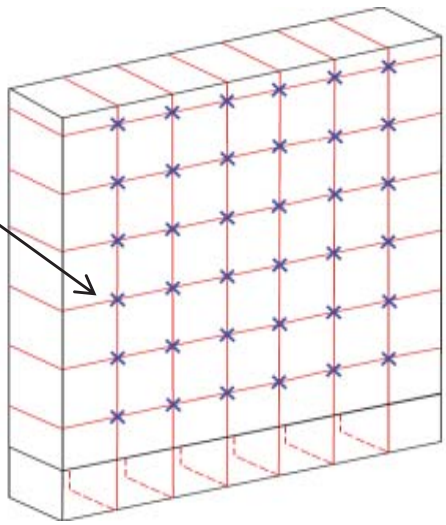
d) Mantener la tensión con la mano más hábil y con la otra mano apretar el lazo contra el muro donde la driza pasa por el lazo.



e) Finalmente, con la mano hábil hacer tres (03) nudos llanos debajo del nudo hecho en el Anexo 6, inciso 6.3, literal c) y soltar.

6.4 AMARRE DE LAZOS VERTICALES CON LAZOS HORIZONTALES Y UNIÓN DE MALLAS.

Los lazos verticales y los lazos horizontales forman mallas en ambas caras del muro. Ambas mallas deben unirse utilizando drizas "conectoras" (que crucen el muro).

a) En una cara del muro amarrar con la driza "conectora" la intersección formada por el lazo vertical con el lazo horizontal.
b) Perforar el muro con un taladro para cruzar la driza "conectora" de manera que dicha driza también amarre la intersección formada por el lazo vertical con el lazo horizontal, de la otra cara del muro.
c) Repetir el procedimiento con cada intersección formada por el lazo vertical con el lazo horizontal. Las mallas de cada cara del muro deben estar unidas por drizas conectoras.
d) Una vez que se encuentren amarradas las mallas de ambas caras del muro, aplicar el revestimiento de barro con paja.

*Una driza conectora (**X**) amarra el lazo vertical con el lazo horizontal en ambas caras del muro.*