

REFORZAMIENTO SISMICO DE VIVIENDA DE ADOBE EN IMBABURA-ECUADOR

Por

Jeannette Fernández

RESUMEN

En la mayoría de las ciudades de la Sierra ecuatoriana, existen una gran cantidad de edificaciones de adobe, cuyo sistema constructivo presenta algunas ventajas, principalmente en lo que se refiere a economía y facilidades de construcción, a pesar que su comportamiento sísmico no es adecuado cuando en el sistema no se incluyen refuerzos convenientes para resistir las sollicitaciones sísmicas de tensión.

Por ello, se necesita disponer de un sistema de reforzamiento sísmico para las edificaciones de adobe, que reduzca la vulnerabilidad del sistema constructivo, que se ajuste a las características de las viviendas de adobe del país, y que además sea económico. El sistema de reforzamiento tiene como fin, el de transformar la mampostería de adobe no confinada y no reforzada, en una mampostería confinada y parcialmente reforzada. El reforzamiento que se propone en este trabajo se basa en el uso de enchapes, con un refuerzo para tensión que puede consistir en varillas de acero o una malla electrosoldada. Este sistema, por su concepción ofrece mejorar a una edificación de adobe para que desarrolle un comportamiento sísmico adecuado, aún frente a sismos de magnitud severa.

Este documento está basado en los trabajos de investigación realizados en la Universidad Católica del Perú, el Proyecto Regional CERESIS GTZ y los aportes propios generados por los investigadores del proyecto de capacitación práctica PC-BID-05 que ejecutó la Escuela Politécnica del Ecuador, EPN con fondos del programa de Ciencia y Tecnología BID-FUNDACYT, cuyos resultados han sido plasmados en la tesis de grado del Sr. Paúl Bonilla, dirigida por el Ing. Patricio Placencia y en la que actúan como correctores el Dr. Fabricio Yépez y la Ing. Jeannette Fernández.

Los diseños del reforzamiento del proyecto de 20 casas en la provincia de Imbabura estuvieron a cargo de los Ingenieros Patricio Placencia, Félix Vaca y Eduardo Márquez. Un grupo de diez estudiantes de la Carrera de Ingeniería Civil participó en el levantamiento estructural de las edificaciones y el Dibujo en Autocad tanto del Estado Actual como del Reforzamiento, ellos son: Rafael Batallas, Darío Chicaiza, David Carrión, Orlando Romero, Byron Guamán, Santiago Román, Richard Tituaña, Fabián Yar y Paúl Bonilla.

INTRODUCCIÓN

Debido a factores culturales y socioeconómicos, en mayoría de las ciudades de la Sierra ecuatoriana las casas son de adobe, y en los sectores que se desarrollan alrededor de esas ciudades, hasta la actualidad se construyen viviendas de adobe de uno o dos pisos, de forma espontánea, utilizando técnicas tradicionales. Una insuficiencia de criterios ingenieriles y sismorresistentes en la construcción de viviendas de adobe por parte de sus usuarios, la vulnerabilidad propia del sistema constructivo frente a acciones sísmicas, y su extensa existencia y difusión en las zonas de mayor peligro sísmico del país, han determinado la necesidad de desarrollar y difundir técnicas de reforzamiento estructural para el sistema constructivo de adobe, adecuadas a las condiciones culturales y económicas del Ecuador.

CARACTERÍSTICAS DE LAS EDIFICACIONES DE ADOBE ECUATORIANAS

Las edificaciones de adobe existentes presentan características muy variadas, en lo referente a presencia o inexistencia de algunos elementos del sistema constructivo general (cimientos, sobrecimientos, viga solera), longitud y densidad de paredes, tipo de material utilizado en el entrepiso o estructura de cubierta, y material de cubierta, debido principalmente a la finalidad de uso a la que se oriente la construcción (vivienda o almacenaje).

Sin embargo, la mayor parte de las edificaciones se han construido bajo ciertos parámetros comunes, como son: la falta de supervisión especializada de la construcción, lo que produce que quienes llevan la obra a cabo se basen principalmente en sus experiencias anteriores, las que en la mayoría de ocasiones pueden no tener un sustento técnico sismorresistente; y también la capacidad económica del propietario.

Lo mencionado anteriormente, determina que la mayor parte de las edificaciones de adobe existentes en el Ecuador, presenten las siguientes características según se indica:

El material del adobe es el que está disponible en el mismo lugar, sin considerar sus características granulométricas, las cuales tienen importancia en cuanto a sus propiedades mecánicas, su permeabilidad y resistencia a agentes ambientales. Si el elemento en exceso es arcilla, las unidades elaboradas, en la etapa de secado tienden a fisurarse, con lo que la integridad del elemento se afecta y por ello su resistencia mecánica. Los mampuestos son vulnerables a la humedad ambiental y a las precipitaciones, ya que la presencia de humedad dilata al elemento y el siguiente proceso de secado lo retrae, formando así nuevas grietas y de mayor dimensión. En el caso que el material predominante sea la arena, se puede prever una baja resistencia mecánica la unidad.

Si existe la disponibilidad de fibras como paja o tamos, y su precio es accesible en la región, se las incluye como elementos adicionales en el adobe. Estas fibras tienen importancia en lo referente a la fragilidad de falla de las unidades. Cuando la capacidad de los mampuestos es excedida, las fibras le brindan una cierta resistencia a la tensión impidiendo su colapso inmediato.

En algunos sectores de varias ciudades, como en Otavalo e Ibarra, las edificaciones no presentan sobrecimientos y en algunos pocos casos tampoco cimientos, elementos que son necesarios para aislar las bases de los muros de la humedad del suelo. Esto conlleva a que se produzca un deterioro de las bases de los muros, lo que debilita a estos elementos en su resistencia estructural y estabilidad, incrementándose así las posibilidades de falla de los muros frente a una acción sísmica.

Las paredes se encuentran expuestas directamente a la humedad ambiental, precipitaciones y ataque de otros agente naturales. Cuando se trata de una exposición a las precipitaciones, de acuerdo al material predominante se pueden producir los fenómenos antes anotados, y si la proporción de los elementos en el material fuera óptima, se puede esperar un proceso erosivo natural, el que afecta también a la resistencia mecánica de los elementos. La acción de agentes naturales como musgos y líquenes influye con el paso del tiempo de la misma manera en los muros de la edificación.

Las juntas de las paredes se realizan únicamente conectándolas mediante el sistema de "trabe", el que consiste en alternar las juntas verticales entre las unidades de adobe en cada hilera, de manera que se presente una junta vertical pasando una hilera en la misma sección. El "trabe" pretende vincular las paredes que son perpendiculares entre sí, en esquinas o encuentros exteriores, y en encuentros interiores.

Existen muchas viviendas que están constituidas por ambientes únicos, lo que hace que su densidad de paredes sea muy baja. Esto provoca una concentración de fuerzas en los muros cuando son sometidos a acciones sísmicas, incrementando así su vulnerabilidad. Es característica además, la existencia de muros largos, los que son muy vulnerables a acciones sísmicas cuando éstas son perpendiculares al plano de los elementos.

Como soporte del muro que se desarrolla sobre aberturas de puertas o ventanas se colocan dinteles de madera u hormigón, elementos que son de mayor rigidez que la tierra. Las vigas que soportan el sistema de entrepiso se encuentran apoyadas directamente sobre los muros de adobe, sin ningún tipo de repartidor de esfuerzos entre ellas y la pared, lo que produce concentraciones de esfuerzos en el muro alrededor del apoyo.

Los sistemas de entrepiso con entablado en edificaciones de dos pisos, son de muy baja rigidez en su plano y no brindan un soporte lateral adecuado a todos los muros, los que de acuerdo al sistema constructivo, para comportarse adecuadamente frente a las sollicitaciones de carga axial deben ser continuos en altura, creando así para ellos una gran esbeltez, la que los hace vulnerables, principalmente cuando las acciones sísmicas tienen la dirección de su principal componente perpendicular al plano del muro. Este tipo de entrepisos además no vincula adecuadamente a los muros obteniéndose de ésta manera una pobre respuesta estructural del conjunto.

Las estructuras de cubierta se construyen utilizando materiales como tiras de madera o carrizo, lo que produce que estas estructuras tengan muy poca rigidez lateral, y no vinculen adecuadamente a los elementos que los soportan, obteniéndose así de estos una pobre respuesta estructural de conjunto.

Generalmente, las estructuras de cubierta tienen pendientes para la evacuación de la escorrentía de la precipitación solamente en dos direcciones, lo que se denomina de manera común como cubierta a "dos aguas". Este tipo de cubiertas, canalizan su peso hacia las dos paredes que las soportan.

Los elementos que se utilizan para cubierta son tejas de barro no vidriado colocadas directamente sobre la estructura de cubierta. No tienen ningún vínculo a la cubierta y se conectan entre sí en ocasiones mediante mortero de barro o cemento. Debido a las características de las tejas, para que exista una adecuada evacuación de las aguas de lluvia es necesario que las cubiertas tengan una gran pendiente, lo que produce que la altura del muro lateral que cierra el sistema de cubierta o tímpano, tenga una altura importante, volviéndolo vulnerable frente a acciones sísmicas perpendiculares a su plano.

De manera general cabe anotar que las edificaciones de adobe existentes no poseen algún tipo de refuerzo que pueda desarrollar resistencia a tensión, y tampoco disponen de elementos que vinculen adecuadamente a las paredes, ni viga solera, de lo que se determina que las edificaciones de adobe existentes en el Ecuador en su mayoría no tienen la capacidad de desarrollar un comportamiento sísmico adecuado, ya que no contienen elementos que cubran sus principales deficiencias en cuanto a su comportamiento sísmico.

COMPORTAMIENTO DINAMICO Y FALLAS QUE OCURREN EN LAS EDIFICACIONES DE ADOBE FRENTE A ACCIONES SISMICAS

Las acciones sísmicas tienen seis componentes de las cuales, para esta descripción se considerarán las componentes de la acción sísmica paralelas y perpendiculares a los planos de las paredes, y la torsión en planta actuando sobre la estructura en su totalidad.

Debido a la necesidad de que los muros frente a volcamiento sean estables, y a que se debe reducir las tracciones que se producen en los mismos por los empujes laterales que se generan por el peso de las cubiertas y entrepisos; y debido a su peso propio cuando se presentan acciones sísmicas, es necesario que las paredes tengan un gran espesor.

Por otro lado, los muros que se desarrollan en un plano perpendicular a la dirección principal de la acción sísmica tienen una masa importante, lo que produce grandes fuerzas inerciales y poca rigidez con respecto a la dirección de las fuerzas sísmicas, y un sistema de enlace tipo "trabe" que no vincula al elemento adecuadamente con otros que pueden mejorar su estabilidad lateral, hacen a estos elementos vulnerables.

Cuando la acción sísmica incide sobre una estructura de adobe, se produce inicialmente un trabajo conjunto de la estructura, con un periodo natural de vibración generalmente corto, dependiendo de las características del suelo de fundación. Siendo un sistema masivo pero de gran rigidez, los desplazamientos que se producen en los elementos son pequeños. El trabajo conjunto de la estructura se mantiene, mientras los muros se encuentran enlazados entre sí. Si las sollicitaciones sísmicas exceden la capacidad a la tracción y corte de las unidades de adobe, o del mortero que vincula a los elementos en muros perpendiculares entre sí, siendo uno de ellos perpendicular a la acción sísmica, se produce un fisuramiento

en las juntas de los muros, las que debido a la duración del evento, puede llegar a magnificarse hasta formar grietas. Este hecho, afecta a las juntas y encuentros de los muros perpendiculares, cuando la acción sísmica actúa sobre uno de ellos, tratando de separarlo de aquel que le brinda apoyo, es decir, de aquel que tiene una dirección paralela a la componente principal de la acción sísmica.

Las fuerzas que se generan en los muros perpendiculares a la acción sísmica, producen además flexión fuera del plano, lo que de acuerdo a la forma en que el muro se encuentre apoyado genera fisuramientos verticales hacia el centro de la pared en su parte superior. Un fenómeno similar ocurre en la base de los tímpanos que se utilizan en los muros para cerrar las aberturas laterales que genera el sistema de cubierta a dos aguas.

Cuando el sistema se encuentra fisurado, y se ha producido el agrietamiento en las juntas de paredes, ya no existe una integridad estructural y ya no existe un trabajo conjunto de los elementos. Es entonces, que cada una de las paredes comienza a responder independientemente a la acción sísmica.

Los muros que se desarrollan perpendicularmente a la dirección de la componente principal de la acción sísmica, debido a su gran masa, y a su rigidez geométrica reducida luego de los fisuramientos, experimentan grandes desplazamientos, los que conjuntamente con la pérdida de la estabilidad de la edificación llevan al muro a su colapso por volcamiento fuera del plano. Este fenómeno, repetido en varios muros que soportan a la cubierta, lleva a ésta a un colapso progresivo, el que finalmente produce en la edificación un colapso total.

Cuando en las edificaciones, la configuración arquitectónica produce grandes excentricidades entre el centro de masa y el centro de rigidez, considerando que sólo aportan a la rigidez torsional de la estructura aquellos muros que son perimetrales, las fuerzas inerciales que se producen en los elementos de la construcción se incrementan en magnitud, especialmente en los elementos exteriores de la edificación, lo que apresura el proceso de colapso de la vivienda.

En resumen, las fallas típicas que se ocurren en las edificaciones de adobe son las siguientes: Fisuramiento en las uniones de los muros (juntas y encuentros), y en su centro hacia la parte superior; Fisuramientos en los muretes que separan una abertura de puerta o ventana; Fisuramientos en las porciones de muro que cierran lateralmente el sistema de cubierta a "dos aguas"; Fisuras diagonales en los muros que se desarrollan en un plano paralelo a la componente principal de la acción sísmica; Fisuras en las esquinas de las aberturas de puertas y ventanas.

EXPERIENCIAS EN SISMOS ANTERIORES

La parroquia de Santa Rosa del Tejar, es un asentamiento rural que se ubica aproximadamente a 5 Km de Ibarra, donde existe una gran cantidad de viviendas de adobe, las que se puede decir que son aproximadamente el 95% de la totalidad de las viviendas.

El 8 de octubre del año 2000, esta población fue acometida por un evento sísmico, el que tuvo las características que se anotan a continuación:

FECHA	HORA	LATITUD	LONGITUD	MAGNITUD	INTENSIDAD
2000-10-08	15h12	0.33 Norte	78.10 Oeste	5.4*	6K**

* Gutemberg – Richter. ** Escala MSK.

Este fue un movimiento sísmico de magnitud moderada, de intensidad máxima VI grados en la escala MSK, el cual causó daños materiales en las viviendas de adobe y hornos para la producción de ladrillo y tejas. Como era de esperarse, los daños ocurridos sobre las edificaciones de adobe fueron los que se indican anteriormente como típicos, dependiendo de la configuración estructural de cada una de las viviendas.

Aproximadamente, se contabilizaron 100 casas de adobe con daños, de las cuales alrededor de 30 se encontraban al borde del colapso, por el desplome de sus muros (EGRED, José. Sismo de Santa Rosa del Tejar. I.G. E.P.N. 2001.).

FOTOGRAFIAS DE FALLAS TÍPICAS

Fallas de separación de muros.



Fallas de corte en el plano.



CRITERIOS BASICOS Y OBJETIVOS DEL SISTEMA DE REFORZAMIENTO ESTRUCTURAL

El sistema de reforzamiento estructural para edificaciones de adobe que se plantea a continuación se ha desarrollado considerando los siguientes criterios y objetivos:

- Reducir la vulnerabilidad sísmica de las edificaciones de adobe, para salvaguardar la vida de sus usuarios, y su propiedad.
- Convertir el sistema estructural original, de mampostería no reforzada y no confinada, en un sistema de mampostería confinada y parcialmente reforzada.
- Desarrollar un sistema de reforzamiento estructural adecuado a las tipologías constructivas de adobe que se utilizan en el país, en base a sistemas de reforzamiento que se han demostrado efectivos mediante pruebas experimentales, basados fundamentalmente en el uso de malla electrosoldada como elemento resistente a las sollicitaciones de tensión.
- Determinar un sistema de reforzamiento estructural económico.

SISTEMA DE REFORZAMIENTO ESTRUCTURAL PROPUESTO

Consiste en colocar un refuerzo que enmarque a cada pared, y que además vincule a todas las paredes en sus juntas con lo que se consigue un enmarcado global. Con esto se mejora la resistencia de cada muro, sobre todo su resistencia post fisuramiento, y se asegura el trabajo de conjunto de las paredes al mantenerlas juntas en sus uniones. El refuerzo además resiste las tensiones que se presentan en el material.

1. FUNCIONES DE LOS REFUERZOS

Los refuerzos horizontales a utilizarse en las zona superior de las paredes están destinados a cumplir con las siguientes funciones:

- Desarrollar un trabajo estructural de conjunto de los muros frente a acciones sísmicas.
- Proveer resistencia en las zonas de mayores sollicitaciones de tensión inducida por la flexión, en muros perpendiculares a la dirección de la principal componente de la acción sísmica.
- Mejorar la estabilidad del muro frente a acciones perpendiculares al plano.
- Distribuir uniformemente en los muros, las cargas verticales y sísmicas.
- Resistir las concentraciones de esfuerzos que se producen en los muros, cuando la estructura de entrepiso y/o la estructura de cubierta se apoya directamente sobre las paredes.

Los refuerzos verticales que se colocan en las juntas, encuentros y bordes libres de las paredes están orientados a cumplir con las siguientes funciones:

- Formar parte del enmarcado de confinamiento de cada pared
- Mantener la estabilidad de la estructura

- Resistir las solicitaciones de tensión, que se producen entre elementos perpendiculares cuando un sismo incide sobre la edificación.
- Resistir los esfuerzos principales de tensión en las porciones de pared cercanas a un muro perpendicular, cuando actúa una fuerza sísmica perpendicular a su plano.
- Resistir los esfuerzos de tensión inducidos por los momentos que se producen en el plano cercano a la unión de un muro con otro perpendicular, debido al apoyo que éste le brinda a aquel sobre el que la acción sísmica incide perpendicularmente.
- Resistir los esfuerzos de tensión inducidos por la flexión en el plano del muro, que se producen en los extremos de la pared cuando ésta desarrolla un comportamiento de pared confinada.

Los refuerzos horizontales a utilizarse en la base de los muros están destinados a cumplir con las siguientes funciones:

- Desarrollar un trabajo estructural de los muros de adobe como el de mampostería confinada, al completar el cinturón perimetral de refuerzo de la pared, conformado por el refuerzo superior y los refuerzos verticales de juntas de paredes, encuentros y bordes libres de los muros según sea el caso, con lo que la resistencia del muro y su ductilidad se incrementa notablemente frente a acciones sísmicas.
- Proveer resistencia en las zonas de mayor concentración de esfuerzos producidos por la acción de fuerzas sísmicas.
- Mejorar la estabilidad del muro frente a acciones coplanares.

Los elementos de refuerzo más adecuados deben estar constituidos por un material o conjunto de materiales que presenten un buen comportamiento frente a las solicitaciones de tensión, cortante, y desarrollen una adherencia adecuada con los muros para que los esfuerzos puedan transmitirse de la pared al reforzamiento, además de mantenerse fijos ante un sismo y no producir concentraciones de esfuerzos en el muro que se desea reforzar. Adicionalmente, el reforzamiento debe ser económico y simple de aplicar.

2. DESCRIPCION DE LOS REFUERZOS

El reforzamiento propuesto consiste en colocar en el borde superior del muro, en la parte interior y exterior del mismo, o en una zona lo más cercana posible al borde superior, una banda de refuerzo, que podría estar constituida por varillas o malla electrosoldada cuya cantidad dependerá de la magnitud de las paredes a reforzar. Por el momento se recomienda el uso de mallas, pues está respaldado por ensayos experimentales de la Universidad Católica de Lima - Perú. Estos refuerzos sirven para resistir las solicitaciones de tensión que se producen en la dirección longitudinal del muro. El enchape debe tener 4 cm de espesor y la banda de malla va al centro del enchape. El mortero para el enchape deberá prepararse con una proporción volumétrica como para enlucido.

Para este reforzamiento, se recomienda utilizar una banda de malla de 3.5 mm @ 15 cm, de 30 cm de ancho, en la que están presentes tres varillas de acero en la dirección longitudinal de la banda. En la dirección transversal las espigas tienen las mismas características y el mismo espaciamiento, facilitando la colocación de los conectores de las mallas al espaciamiento requerido.

La región en la que se debe colocar el refuerzo, puede prepararse de las siguientes maneras:

Cuando el espesor del muro sea menor o igual a 40 cm, o cuando la dureza de las unidades de adobe sea elevada, la colocación del refuerzo puede realizarse únicamente retirando el enlucido de la pared, de tal forma que el refuerzo se ubique directamente sobre la superficie del muro. Si no existiera enlucido, el refuerzo se colocará directamente sobre la superficie de la pared en la zona indicada. Por otro lado, cuando el espesor del muro sea cercano a 1 m, se permite, elaborar un canal en la pared de adobe para colocar el refuerzo. Esto, con el fin de mantener la apariencia original sin resaltes.

Las mallas que se encuentran en cada lado de la pared, deben estar vinculadas entre sí, mediante unos conectores de acero, los que pueden ser varillas $\phi \geq 4$ mm con un gancho en cada extremo, espaciadas una distancia igual al espesor de la pared en el ancho de la banda de refuerzo y 45 cm en la dirección longitudinal. Cada gancho deberá tener por lo menos 20 cm doblado a 90°.

Para disponer de un efecto de cinturón vertical o horizontal, las mallas deben ser continuas en todo el perímetro de las paredes interiores y exteriores, y mantenerse vinculadas mediante los conectores en todo su desarrollo. Los traslapes de la malla, donde se requiera realizarlos, deberán tener por lo menos 30 cm. Para los encuentros interiores y de esquinas de los muros, en la zona superior se podrá utilizar cualquiera de las configuraciones de colocación que se indican en los esquemas del reforzamiento. (Figuras 2 y 3).

El enchape de mortero se conseguirá lanzando la mezcla a la franja donde se ubica el refuerzo. No hace falta encofrar los enchapes.

El refuerzo vertical para juntas de muros, consiste en colocar en una esquina conformada por el encuentro de dos muros perpendiculares entre sí, en una región previamente preparada en las paredes, una malla electrosoldada que se extienda sobre el exterior e interior de los muros, vinculada con conectores de tal forma que se confine a la unión. El refuerzo debe extenderse sobre las dos paredes en el exterior e interior de las mismas en toda su altura, desde el sobrecimiento (si existe) o desde la cimentación.

La malla electrosoldada que se coloque en la parte externa de la junta debe exceder horizontalmente sobre cada pared, un mínimo de 30 cm al espesor del muro perpendicular, mientras que aquella que se coloque en el interior de la junta, debe extenderse como mínimo 30 cm de longitud sobre cada uno de los muros que convergen en la intersección.

La malla electrosoldada es similar a la utilizada en las bandas horizontales.

Es importante que los conectores vinculen a una espiga vertical de la malla que se ubique precisamente en el vértice interior de la junta, con las mallas que se encuentran en el exterior de la misma, para que el refuerzo interior pueda desarrollar la tensión de reacción a las solicitaciones sísmicas. Con este fin, además se debe colocar un conector diagonal (fig. 2) que una a las espigas de la malla en los vértices interior y exterior de la junta que se está reforzando.

El ancho de la banda vertical que va por el exterior de un cruce de paredes, debe ser de 30 cm como mínimo a cada lado de la intersección con la pared perpendicular, adicionalmente al espesor del muro perpendicular. En los vértices interiores, la longitud del refuerzo debe ser de 30 cm como mínimo sobre cada una de las paredes que convergen en la junta. Estos refuerzos deben desarrollarse en toda la altura del muro, desde el sobrecimiento en caso que existiera, sino desde la cimentación.

La malla electrosoldada debe tener un enchape de 4 cm y debe colocarse en la mitad del espesor del mismo.

Los refuerzos verticales que se deben colocar en los extremos libres de las paredes en toda su altura, tienen como fin, formar un marco en todos los muros, para que estos elementos puedan desarrollar un comportamiento estructural de mampostería confinada. Los refuerzos deben recubrir al borde libre de la pared, extendiéndose por lo menos 30 cm sobre cada una de las superficies del elemento.

El refuerzo para la base de los muros consiste en colocar en el borde inferior del muro; en juntas, encuentros y bordes libres de paredes, sobre el sobrecimiento o el cimiento, en la parte interior y exterior del mismo en una determinada longitud, en una región previamente preparada, una malla electrosoldada similar a las anteriores.

Para esto, generalmente se utiliza una franja de malla de 30 cm de ancho, de forma similar al refuerzo horizontal superior de las paredes.

Las mallas deben extenderse 60 cm como mínimo desde la arista interior de la intersección de dos muros perpendiculares o un cruce de paredes, pero no menos de 1.20 m desde la arista exterior. Las mallas exteriores deben extenderse la longitud necesaria desde el vértice exterior de la junta, para que el refuerzo interior esté sujeto con el refuerzo exterior en toda su longitud.

El refuerzo en la base de un muro con un extremo libre, debe extenderse 100 cm como mínimo desde las aristas verticales del borde hacia el interior de la pared, siendo continuo en el espesor del muro, y tiene las mismas características de los refuerzos horizontales para la base de los muros que se indican anteriormente.

La Figura 1, muestra de una forma general, la ubicación y conformación de los refuerzos horizontales de la base de la cubierta o entepiso, y de la base de los muros, y también de los refuerzos verticales de juntas, encuentros y bordes libres de paredes.

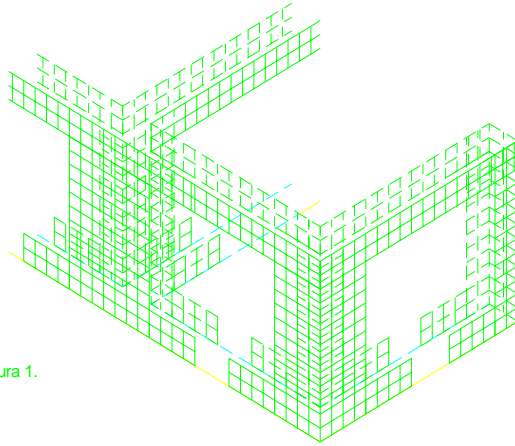


Figura 1.

Detalles de conformación del refuerzo.

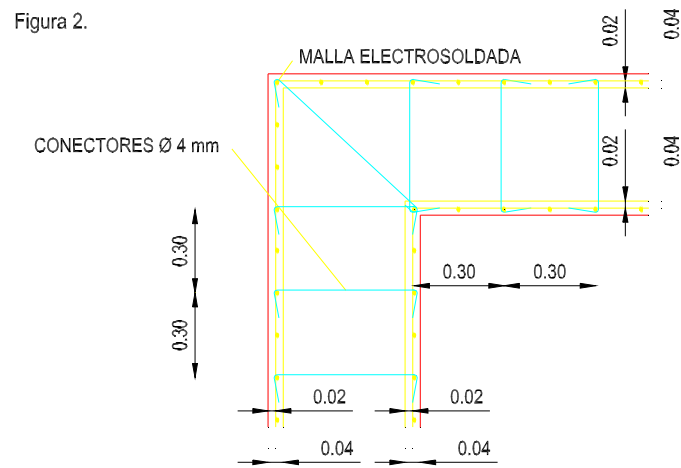


Figura 2. Esquema de conformación del refuerzo en juntas esquineras. (metros).

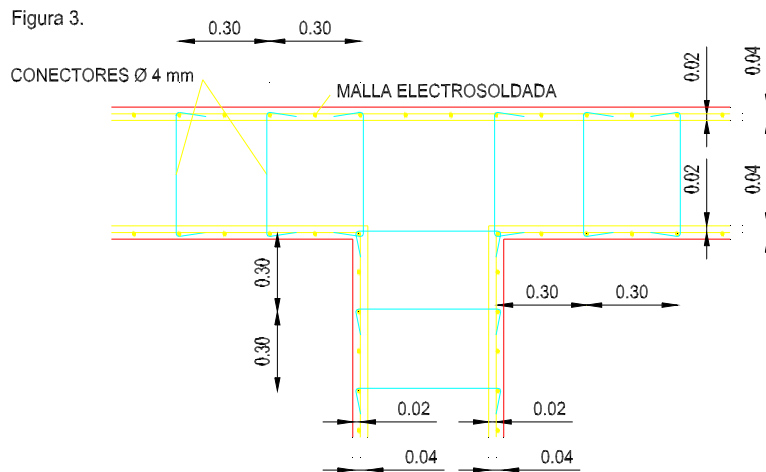


Figura 3. Esquema de conformación del refuerzo en encuentros de paredes. (metros).

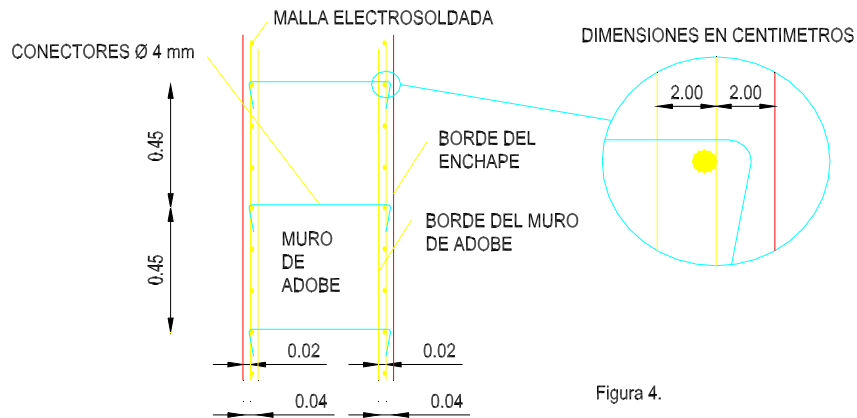


Figura 4. Esquema del enchape de los muros. (metros).

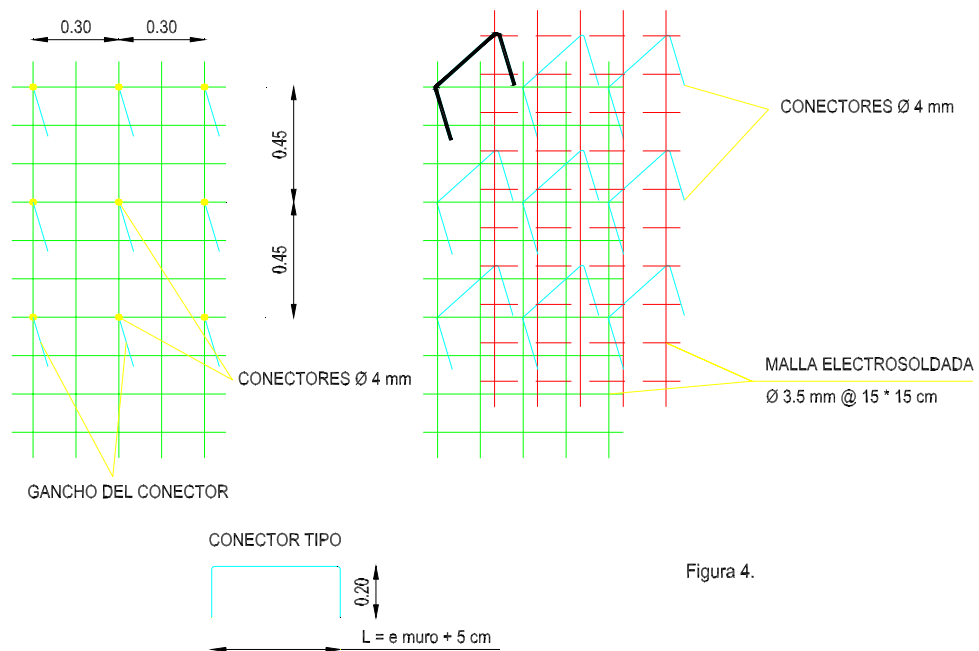


Figura 5. Esquema de colocación de conectores. (metros).

3. ALCANCES Y LIMITACIONES DEL SISTEMA DE REFORZAMIENTO ESTRUCTURAL

De las observaciones realizadas sobre las edificaciones de adobe que existen en el país, se ha determinado una serie de defectos en las viviendas, algunos subsanables antes de aplicar las técnicas de reforzamiento, otros que harían inefectivas dichas técnicas salvo que se utilice un sistema de reforzamiento adicional, y otros donde la edificación irremediablemente está destinada al colapso. (ZEGARRA, Luis; SAN BARTOLOME, Angel; QUIUN, Daniel. Limitaciones y Alcances del Reforzamiento de Viviendas Existentes de Adobe en los Países Andinos. GTZ-CERESIS-PUCP. Lima - Perú. 1999.).

3.1 Principales Defectos Subsanables Antes de Aplicar la Técnica de Reforzamiento

- Falta de mortero en las juntas verticales de las unidades de adobe. Antes de enmallar los muros, éstas juntas deben ser selladas con mortero de cemento, para lo cual, las juntas deben estar limpias y húmedas.
- Bases de los muros ligeramente socavadas por la humedad o la intemperie. Las zonas socavadas deben limpiarse y humedecerse como una preparación para la colocación del recubrimiento del refuerzo en la parte superior de la junta entre la pared y la cimentación, en el caso que éste sea necesario. En caso contrario, se debe colocar sobre las zonas socavadas un mortero de cemento y arena para que el defecto sea subsanado.
- Vigas de madera o troncos de techo fallados. Deben ser reemplazados.
- Muros de hasta 5 m de altura. En las viviendas antiguas abundan los muros altos, lo que obliga a adicionar un enmallado horizontal a la mitad de su altura, además de la malla que se debe colocar al final de la altura del muro.
- Muros de hasta 7 m de largo. En las viviendas que de acuerdo con sus fines de uso tienen un solo ambiente amplio, es necesario, en el centro de los muros de mayor longitud, adicionar una doble malla vertical de por lo menos 45 cm de ancho, en muros de hasta 5 m de largo, y de 90 cm de ancho en muros de hasta 7 m de largo, interconectadas mediante varillas delgadas o un alambre de 4 mm de diámetro.
- Tímpanos de los techos a dos aguas. Generalmente en la parte interior de la vivienda debido al cielo raso es imposible colocar una malla en ambas superficies que pueda confinar al muro, pero se considera que la colocación de una sola malla que desarrolle un adecuado vínculo con el muro en el interior o exterior del mismo, presentará algún beneficio.
- Muros medianeros portantes. Cuando el propietario de la vivienda adyacente no permita que se realice la colocación de la malla en la superficie del muro dentro de su propiedad, se considera suficiente con enmallar totalmente la superficie del muro que es accesible.
- Fisuras finas (menos de 1 mm de espesor) en la unión de paredes ortogonales o en otras zonas del muro. En éste caso la fisura debe resanarse con mortero de cemento y arena compactado a presión manual; previamente, la fisura debe profundizarse, limpiarse y humedecerse.
- Adobes que se desmoronan al realizar las perforaciones para colocar los conectores de las mallas interiores y exteriores. Cuando esto ocurra, se debe extender los ganchos de los conectores hasta que tengan una sujeción de por lo menos 20 cm en el muro, y el agujero deberá rellenarse con mortero de cemento y arena. Además deberá considerarse la necesidad de incrementar el espaciamiento entre las perforaciones en el caso de ser necesario.

- Cuando la cubierta tenga por estructura principal portante, un conjunto de cerchas rígidas en su plano, se puede aplicar la técnica de la colocación de tirantes o tensores diagonales entre cercha y cercha, para mejorar su rigidez.

3.2 Principales Defectos que Dificultan la Técnica de Reforzamiento y Requieren una Intervención Adicional

- Bases de los muros muy deterioradas por efectos de la erosión. Previamente, antes del enmallado, es necesario profundizar una limpieza en el muro de por lo menos 7 cm, para colocar la malla electrosoldada embebida en el mortero de cemento - arena en éste espesor. Si el deterioro fuera producido por humedad es necesario que se investigue la existencia de tuberías rotas.
- Techos muy deteriorados. Habría que desmontar el techo existente para reconstruirlo, por lo que se podría añadir una viga solera de hormigón armado o de madera sobre los muros en lugar de la malla horizontal.
- Mochetas sueltas. Estos muros de poca longitud pueden ser reforzados o removidos y contruidos nuevamente.
- Muros con una longitud mayor a 7 m no arriostrados. Habría que añadir una o dos columnas de concreto armado como arriostre en la zona intermedia.
- Paredes desplomadas más del 1% de su altura. Habría que desmontar la pared y construir otra utilizando los mismos adobes, y adherirlos con mortero de cemento y arena. En la unión de la nueva pared con la existente, se deberá añadir una columna de concreto armado para enlazarlas, o un enchape de malla de 90 cm de ancho.
- Paredes sin sobrecimiento pero con cimentación. En éste caso, para proteger la base de los muros, debe añadirse una malla horizontal continua de 30 cm de ancho en esa zona.
- Viviendas con baja densidad de muros. En cada dirección la densidad de muros, calculada como la suma de las longitudes de los muros por su espesor, y dividida entre el área techada, debería ser mayor que $0.07 \text{ m}^2/\text{m}^2$. En caso contrario, deberá añadirse muros de albañilería conectados con las vigas del techo.
- Dinteles que se apoyan sobre adobes sueltos. Apuntalar el dintel y eliminar los adobes sueltos reemplazándolos por muros de albañilería o puntales de madera.
- Inclinación del entrepiso. Hay que nivelarlo.

DETALLES DEL SISTEMA DE REFORZAMIENTO

El refuerzo horizontal superior debe colocarse en la parte superior del muro, lo más cercanamente posible al borde superior de la pared. Si existen elementos que parten del muro para soportar voladizos de la cubierta, el refuerzo debe colocarse bajo ellos. Si existieran elementos de entrepiso, el refuerzo debe colocarse directamente bajo ellos. El refuerzo debe ser continuo sobre los muros, considerando las longitudes de traslape mínimas de la malla electrosoldada. El refuerzo puede no ser horizontal en algunos casos, sino también inclinado sobre la superficie de algunas de las paredes, pero debe considerarse que sobre el plano del muro, la banda de refuerzo no debe presentar cambios de dirección tipo grada, para que pueda desarrollar la reacción de tensión para soportar las sollicitaciones sísmicas.

Los conectores deben estar amarrados a las mallas mediante alambre #18 con un amarre como el de varillas. Con el alambre que une al conector y la malla, se puede conseguir la separación de la malla electrosoldada con la superficie de la pared. La separación entre la malla electrosoldada y la pared, también puede conseguirse colocando trozos de piedra (ripio) con un diámetro nominal semejante a la separación requerida entre una intersección de espigas y el muro.

El enchape de mortero cemento - arena en proporción volumétrica como para enlucido, debe recubrir al refuerzo por lo menos 2 cm en cada uno de sus lados, para vincularlo a la pared y desarrollar la adherencia del refuerzo con la misma, y protegerlo de la intemperie. Los conectores hacia el centro del muro, en el refuerzo horizontal superior pueden separarse de 30 a 60 cm, de acuerdo con la longitud del muro que se esté reforzando.

Los refuerzos verticales deben colocarse en la parte interior y exterior de los muros que convergen a una junta, y debe recubrir el extremo libre de una pared, en toda su altura accesible. Si existen canesillos, el refuerzo debe cubrir el muro hasta debajo de ellos. Si existieran elementos en la base de los muros o instalaciones, el refuerzo se colocará desde el límite superior de los mismos. Las mallas que se utilicen para el refuerzo vertical deben ser continuas.

El refuerzo horizontal de la base de los muros debe colocarse en la parte inferior del muro, lo más cercanamente posible al sobrecimiento de la pared en caso que existiera, o si no a la cimentación. Si existieran elementos o instalaciones en la base de los muros, el refuerzo deberá colocarse sobre ellos. El refuerzo debe ser continuo sobre la base de los muros, considerando que en lo posible las mallas deben ser de una sola pieza, si no, se debe considerar las longitudes de traslape mínimas de la malla electrosoldada. El refuerzo horizontal de la base de los muros, completa el cinturón perimetral de las paredes, para completar el marco confinante de estos elementos.

METODOLOGIA CONSTRUCTIVA DEL REFORZAMIENTO

1. CONSIDERACIONES CONSTRUCTIVAS

Los detalles que se deben considerar en la etapa constructiva del refuerzo son los que se indican a continuación, y son los más comunes e importantes que se han observado en las tipologías constructivas que se ejecutan en la Sierra ecuatoriana hasta la actualidad:

Existen viviendas en las que el espesor de los tímpanos de los muros que cierran el sistema de cubierta lateralmente, es distinto al de los muros que los soportan. Se debe considerar entonces utilizar bandas de mayor ancho, que recubran al tímpano solamente en su superficie continua con la parte inferior de la pared, de acuerdo con las dimensiones de los muros y su altura, o la posibilidad de colocar también refuerzos interiores que tengan un doblez en la zona en la que cambia el espesor del muro.

La existencia de cielos rasos falsos en la mayoría de ocasiones dificulta la colocación del refuerzo horizontal superior, razón por la que se debe evaluar la posibilidad de ubicar el refuerzo bajo el nivel del cielo raso falso.

En muchas edificaciones, no todas las paredes son portantes de carga vertical, es decir, no aportan a soportan la carga de la cubierta. Sin embargo, estas paredes, si pueden ser portantes para cargas sísmicas y por ello se deben vincular con el resto de paredes, considerando el nivel al que se debe colocar el refuerzo horizontal superior.

En las ocasiones en las que el cielo raso falso, o porciones de muro que se extiendan de las paredes interiores para brindar apoyo a la cubierta, no permitan tener acceso a las superficies superiores interiores de los muros para colocar los refuerzos, se debe considerar la posibilidad de recubrir una porción de muro mayor, o a éste en su totalidad, solamente en su superficie accesible, utilizando aditivos de dilatación en el mortero que rellenará las perforaciones en las que se colocarán los conectores que vincularán al muro con la pared. Este tipo de soluciones, deben considerarse también para cuando muros medianeros sean portantes de la cubierta y no se los pueda reforzar como se indica anteriormente por no tener posibilidades de trabajar en sus dos superficies.

Se debe considerar que cuando una edificación de adobe se halla construida sobre un terreno de una topografía inclinada, si la cimentación de los muros es inclinada con la pendiente del terreno, la colocación de refuerzos horizontales en la base de los muros deberá seguir la línea horizontal de piso de la vivienda, en lo posible.

Los amarres con alambre #18 entre las mallas deben envolver a todos los elementos posibles que alcance el conector. Se debe procurar que los amarres con alambre ocurran en el doblez y en el extremo del gancho del conector.

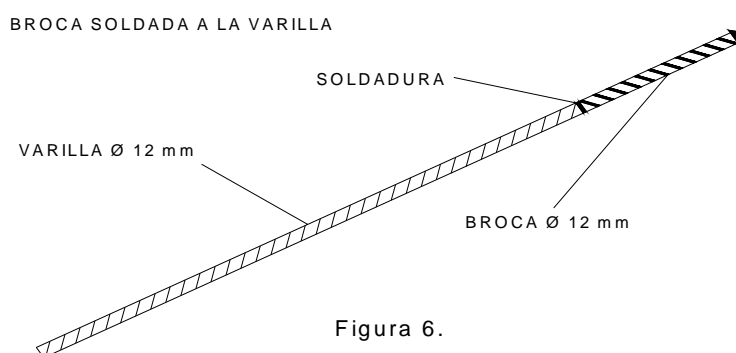
No es importante, que en un encuentro de refuerzos verticales y horizontales, las intersecciones entre las espigas de ellos coincidan, pero si es importante, que se coloque los conectores que sean necesarios en estos encuentros, para que se garantice la adecuada fijación del refuerzo hacia el interior del muro, o sobre su superficie.

Generalmente sobre los dinteles de las puertas, se construye una porción de muro para definir la abertura. Es de importancia mantener esta zona reforzada adecuadamente. Suele suceder, que el ancho de este murete es menor que el de la malla que se debe colocar como refuerzo para el nivel de la base de la cubierta. Para asegurar que esta porción de muro tenga un comportamiento adecuado, se recomienda que se coloque una varilla de refuerzo adicional a la malla, de diámetro 8 mm, que se extienda 60 cm por lo menos a cada lado de los bordes verticales de la abertura. Este refuerzo, conjuntamente con los refuerzos de bordes libres de pared que se deben colocar en los extremos libres de la puerta, aseguran un comportamiento adecuado del muro con la abertura.

Cuando existen elementos decorativos o instalaciones en la base de los muros, el refuerzo horizontal que se debe colocar en esta región de las paredes, debe ubicarse lo más cercanamente posible al sobrecimiento en caso que existiera, si no lo más cercanamente posible a la cimentación.

En ocasiones, debido a las dimensiones de los muros que tienen aberturas como ventanas, los refuerzos en el muro tienden a unirse sobre el plano de la pared. En estos casos, se debe considerar el extender los refuerzos hasta que se unan entre sí, o la posibilidad de colocar una sola malla de refuerzo de dimensiones mayores.

Si se decide elaborar el refuerzo en canales profundizados sobre la superficie de los muros, se debe considerar que la consistencia del adobe sea la adecuada para que la pared no sufra daños el momento de construir el canal, y se deberá utilizar una amoladora para construirlo. Para la colocación de los conectores se deberá realizar las perforaciones en el muro, utilizando un taladro manual eléctrico en el que se debe colocar una broca de diámetro 12 mm soldada a una varilla con una longitud total de por lo menos 15 cm además del espesor de la pared. Figura 6.



2. PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO

La numeración que se utiliza a continuación, tiene como objetivo el describir una secuencia de los pasos a seguir, cuando se esté realizando el proceso de reforzamiento.

- Dibujar en la casa las líneas que determinan la ubicación de los enchapes.

- Cortar la malla electrosoldada de acuerdo con las dimensiones que se indican, según el refuerzo que se esté construyendo (horizontal bajo el nivel de la cubierta, horizontal en la base de los muros; vertical en juntas, encuentros o bordes libres de los muros) con la cizalla. Se recomienda que sobre las espigas de borde del refuerzo, las espigas perpendiculares se corten a aproximadamente a 2 cm de ellas.
- Cortar las varillas o alambre para los conectores de las mallas en dimensiones adecuadas, de acuerdo con lo que se especifica para estos elementos, con una cizalla.
- Doblar la malla electrosoldada en los lugares donde sea necesario. La espiga que longitudinalmente debe estar presente en el doblez, debe quedar hacia el interior del mismo, con el fin de no dañar la suelda que la vincula a las espigas transversales.
- Preparar trozos de por lo menos 15 cm de longitud de alambre #18, para amarrar los conectores con la malla electrosoldada.
- Elaborar en los muros de adobe, donde se van a colocar los refuerzos, un canal del ancho y profundidad que se especifica, retirando el enlucido en el caso que existiera; si no se utiliza el método de reforzamiento que coloca la malla en canales en la pared, es necesario ubicar el refuerzo en las zonas marcadas previamente. Se utilizará amoladora para abrir el canal en las partes centrales de su ancho, si se decide aplicar este sistema de reforzamiento. Para definir los bordes del canal adecuadamente, se deben utilizar un combo y cincel.
- Colocar la malla electrosoldada sobrepuesta sobre la superficie del muro, o en el interior del canal que se ha elaborado, sujeta a la pared mediante clavos de 1.5 plg., considerando los detalles de ubicación para cada tipo de refuerzo.
- A una broca 1/2" para hormigón, hacer soldar una varilla de largo suficiente para atravesar la pared. Realizar las perforaciones necesarias, ubicadas como se indica. No hace falta rellenar el orificio.
- Atravesar las varillas de conexión de las mallas por los orificios elaborados con el taladro, preparando previamente uno de los ganchos del conector. Doblar el otro extremo.
- Amarrar la malla electrosoldada a los conectores, con el alambre #18 dando la separación necesaria a la malla del muro con las extensiones del alambre. Para asegurar la separación entre la malla y la superficie del muro, se puede colocar trozos de piedra triturada de un diámetro nominal semejante a la separación de 2 cm que se indica, entre las intersecciones de las espigas de la malla electrosoldada y el muro. Para esto, es necesario disponer de una carretilla de ripio con una buena graduación.
- Preparar el mortero cemento - arena, colocando un saco de cemento de 50 kg por cada 3 carretillas de arena, con lo que se obtendrá el mortero en proporción volumétrica cemento - arena 1:6. No es necesario que la superficie del muro se humedezca previamente. El mortero en lo posible deberá tener una consistencia semejante a la de enlucido vertical.

- El mortero se lanzará con palas a la superficie donde se ha ubicado el refuerzo, directamente sobre él, si no ha sido necesario retirar enlucido existente. Si se ha retirado enlucido, el mortero se lanzará al canal que se forma por ésta acción. En caso que se hayan elaborado canales en los muros el mortero se aventará a ellos. El mortero se colocará en los refuerzos en dos etapas separadas aproximadamente 60 minutos entre ellas, para lograr una adecuada sujeción del mortero con el refuerzo, y con el muro.
- Se procederá a dar un acabado uniforme a la superficie del mortero en los refuerzos, con una liana.
- Al menos durante los dos días siguientes a la construcción del refuerzo, se recomienda humedecerlo diariamente.

3. FOTOGRAFÍAS DEL SISTEMA DE REFUERZO

Preparación del muro.



Colocación malla electrosoldada



Sujeción de la malla con conectores.



Recubrimiento de la malla con mortero.

