

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA  
LA MOLINA  
FACULTAD DE INGENIERIA AGRÍCOLA**



**“LAS FIBRAS NATURALES COMO REFUERZO SÍSMICO EN  
LA EDIFICACIÓN DE VIVIENDAS DE ADOBE EN LA COSTA  
DEL DEPARTAMENTO DE ICA”**

Presentada por:

ROGER VICENTE TORRES AGÜERO.

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE

INGENIERO AGRÍCOLA

Lima- Perú

2016

<b>I.</b>	<b>ÍNDICE</b>	
	<b>1.1 ÍNDICE GENERAL</b>	
II.	Resumen	6
III.	Introducción	8
IV.	Revisión de Literatura	10
	4.1 Sismo	11
	4.2 Adobe	14
	4.2.1 Propiedades Mecánicas del Adobe	17
	4.2.2 La Vivienda de Adobe en el Perú	18
	4.3.3 Comportamiento Sísmico en las Construcciones de Adobe	20
	4.3 Mallas Tejidas con Fibras Naturales	23
	4.4 Agave Fourcroydes o Henequén	24
	4.5 Condiciones Naturales de la Región Ica	30
	4.5.1 Localización	30
	4.5.2 División Política	30
	4.5.3 Clima	31
	4.5.4 Suelo	32
	4.5.5 Geomorfología Regional	33
	4.5.6 Sismicidad	33
	4.5.7 Historia Sísmica	34
	4.5.8 El Terremoto en Pisco	37
	4.6 Norma Técnica Adobe E.080	39
	4.6.1 Alcances	39
	4.6.2 Consideraciones Básicas	40
	4.7 Norma Técnica Diseño Sismorresistente E.030	43
	4.8 Análisis Elementos Finitos	43
	4.9 Fibras de Henequén	46
V.	Materiales y Métodos	48
	5.1 Base Conceptual para el Diseño de Muros de Adobe reforzados con Mallas de Henequén	48
	5.2 Análisis Sísmico de las Edificaciones de Adobe	50
	5.3 Propuesta de Vivienda a ser analizada y Procedimiento	51
VI.	Resultados y Discusión	65
VII.	Conclusiones	79
VIII.	Recomendaciones	81
IX.	Referencias Bibliográficas	82
X.	Anexo	85

## 1.2 ÍNDICE DE TABLAS

Tabla. 1 Resultados mecánicos entre fibras naturales. Fuente: López 2008.	28
Tabla. 2 División política administrativa de la región Ica. Fuente: INEI, 2005.	31
Tabla. 3 Tipos de Suelo en Ica. Mitma y Alva, 2002.	32
Tabla. 4 Parámetros movimientos sísmicos en el Perú entre 1913 y 1975.	36
Tabla 5. Factores de Zona. Fuente: NTE E.030.	54
Tabla. 6 Parámetros del suelo. Fuente: NTE E.030.	55
Tabla. 7 Sistemas Estructurales. Fuente: NTE E.030.	56
Tabla. 8 Categoría de las edificaciones. Fuente: NTE E.030.	57
Tabla. 9 Cortante basal. Fuente: Elaboración propia.	57
Tabla 10 Valores obtenidos de los esfuerzos producidos. Fuente: Elaboración propia SAP.	69
Tabla. 11 Valores obtenidos (Excel) de los esfuerzos de flexión (F11) en el muro del eje 2. Fuente: Elaboración propia SAP.	70

### 1.3 ÍNDICE DE FIGURAS.

Figura.1 Casa de adobe. Fuente: San Bartolomé, 2005.	11
Figura. 2 Zona Sísmica en el mundo. Fuente: Zelaya 2007.	12
Figura. 3 Catastrófico terremoto. Fuente: Manco y Gutiérrez, 2006.	14
Figura. 4 Ensayo de Resistencia seca. Fuente: Blondet y García, 2003.	16
Figura.5 Adobe secado al sol. Fuente: Vargas, 2007.	16
Figura. 6 Ensayo sísmico a escala real. Fuente: Blondet, 2004.	17
Figura. 7 Prototipo de vivienda rural. Fuente: Torrealva, 2009.	20
Figura. 8 Grietas producidas ante la simulación sísmica. Fuente: Blondet (2004).	21
Figura. 9 Ensayo experimental de falla por corte. Fuente: Blondet, 2004.	22
Figura. 10 Malla tejida con fibra natural. Fuente: Otero, 2000	24
Figura. 11 Agave Americana o maguey. Fuente: Otero, 2000	25
Figura. 12 Planta Henequén. Fuente: Arizaga, 1998	27
Figura. 13 Mapa Político Ica. Fuente: Zelaya. 2007	30
Figura. 14 Mapa Distribución sísmica en zona central del país. Fuente: Tavera 2008	35
Figura. 15 Mapa de Intensidades Terremoto Pisco. Fuente: Indeci 2007	38
Figura. 16 Desplome muro en Ica 1. Fuente: Torrealva	39
Figura. 17 Desplome muro en Ica 2. Fuente: Torrealva	39
Figura. 18 Resistencia a la compresión del adobe. Fuente: NTE E.080	41
Figura. 19 División en elementos finitos. Fuente: Carnicero 2015.	44
Figura. 20 Teoría de elementos finitos. Fuente: Elaboración Propia.	45
Figura.21 Plano en planta de prototipo de vivienda. Fuente: Elaboración Propia	52
Figura. 22 Definiendo el material en SAP. Fuente: Elaboración propia	53
Figura. 23 Zonificación sísmica. Fuente: NTE E.030	54
Figura. 24 Factor de Amplificación sísmica. Fuente: NTE E.030	55
Figura. 25 Cargas sísmicas. Fuente: Elaboración propia SAP	58
Figura. 26 Carga Muerta. Fuente: Elaboración propia SAP	58
Figura. 27 Carga Viva. Fuente: Elaboración propia SAP	59
Figura. 28 Vista en planta vivienda. Fuente: Elaboración propia SAP	60
Figura. 29 Elevación del prototipo de vivienda. Fuente: Elaboración propia	61
Figura. 30 Vista en 3D vivienda. Fuente: Elaboración propia SAP	62
Figura. 31 Comportamiento del muro de adobe del eje E. Fuente: Elaboración Propia SAP.	63
Figura. 32 Desempeño de los esfuerzos de tracción producidos en el muro del Eje 2. Fuente: Elaboración propia SAP	65
Figura. 33 Modelo en SAP de las fuerzas actuantes	66
Figura. 34 Vista en 3D del análisis estructural en el eje 2	67
Figura. 35 Imagen del muro en el eje 2 analizado. Fuente: Elaboración propia	68
Figura. 36 Detalle malla tejida con hilos o fibras. Fuente: Elaboración propia.	70
Figura. 37 Vista lateral muro de adobe con fibra natural. Fuente: E.P	75
Figura. 38 Vista panorámica del encuentro de muros reforzados con malla. E.P	76

Figura. 39 Detalle Malla entretejida con 16 hilos. Fuente: E.P	77
Figura. 40 Malla trenzada de 16 hilos por línea reticular. Fuente: E.P	77
Figura. 41 Cuerdas en la pared cada 30 cm amarradas con la malla. E.P	78
Figura 42. Gráfica en vista lateral del muro. Fuente: Elaboración propia.	78

#### **1.4 ANEXOS.**

- a. Norma Técnica Peruana E.080
- b. Aspectos Proceso Constructivo
- c. Plano en planta y cortes de la Edificación.

## II. RESUMEN

Esta tesis presenta el estudio de una edificación de adobe reforzada con la fibra natural henequén, extraída de la planta *Agave Fourcroyde*. La zona escogida para esta investigación fue la Región Ica, porque allí predominan las construcciones con dicho material, principalmente en su franja costera. Además dado que representa una zona altamente sísmica: muy vulnerable al colapso de las estructuras que en ella existen, y a que el sistema constructivo que utiliza es deficiente. El adobe, como material de construcción, no garantiza seguridad absoluta frente a un sismo, al ser éste un material débil, por tanto debe adicionársele un refuerzo especial que lo haga más resistente y pueda soportar mejor las fuerzas sísmicas. La fibra natural es un buen elemento que ayuda y complementa el trabajo del adobe, ya que le provee mayor ductilidad y rigidez lateral para resistir mejor la acción en tracción producida en un movimiento telúrico. El henequén –en un plano conceptual y teórico- cumple con las condiciones para darle estabilidad a la estructura, reduciendo las probabilidades de derribo. Dado el tipo de suelo y clima, también se desarrolló el factor sísmico que es un porcentaje del peso de la estructura, clave en el análisis de esfuerzos y deformaciones producido en los muros. Se utilizó el software SAP para modelar dicho proceso, en base a sus factores físicos como el módulo de elasticidad, el coeficiente de Poisson y el esfuerzo de compresión axial. Basándonos en la normatividad técnica del adobe, el E.080, y considerando las especificaciones antisísmicas propuestas por la norma E.030, se diseñó un prototipo de vivienda hecha de adobe de un piso. Se elaboró la fuerza horizontal sísmica empleando la metodología establecida, como la zonificación y el factor de uso. La fuerza horizontal hallada fue 0.40 del peso de la estructura. La carga viva empleada fue de 50 kg/m<sup>2</sup> y la muerta de 150 kg/m<sup>2</sup>. Los muros de adobe soportan todos los esfuerzos de gravedad y compresión presentados, pero son incapaces de hacerle frente a los de tracción producida por la flexión fuera del muro. Por consiguiente la malla elaborada, por la unión de fibras o hilos de henequén, fue desarrollada para resistir tales esfuerzos. Según el reglamento el esfuerzo de tracción máximo que puede resistir el adobe es de 2 kg/cm<sup>2</sup>. Habiendo rebasado este valor en la mayoría de muros, se implantó el uso de la malla natural tejida con fibras de este material, usando el método de elementos finitos expresado en el SAP. Valiéndonos de datos establecidos como la resistencia última de tracción del henequén, se desarrolló el diseño de las mallas tejidas con estas fibras. Los resultados indicaron su factibilidad. La mayor cantidad de fibras hilos por centímetro fue de 16 y la mínima de 9, eligiendo el mayor valor, el de 16, por seguridad. Siendo de este modo su implementación de fácil confección y operatividad.

Palabras Claves: vivienda adobe, fibra henequén, costa Ica, sismo, elementos finitos, programa SAP.

## SUMMARY

This thesis presents the study of a building of adobe reinforced with the fiber natural henequen, extracted from the plant *Agave Fourcroyde*. The area chosen for this research was the Ica Region, because there predominate the buildings with such material, mainly in the coastal strip. Also given that is a highly seismically unstable and vulnerable to the collapse of the structures which exist there, since the construction system used is poor. Adobe, as building material, does not guarantee absolute opposite an earthquake safety, this being a weak material, must therefore be adding a special reinforcement which makes it more resistant and can better withstand seismic forces. The natural fibre is a good element which supports and complements the work of adobe, since it provides greater ductility and lateral stiffness to resist better action in traction in a quake. Henequen - on a conceptual and theoretical plane - meets conditions to give stability to the structure, reducing the odds of shooting down. Given the type of soil and climate, it also developed the seismic factor that is a percentage of the weight of the structure, key in the analysis of efforts and deformations produced on the walls. The SAP software was used to model the process, based on their physical factors such as modulus of elasticity, Poisson coefficient and axial compressive stress. Based on the technical regulations of the adobe, the E.080, and considering the antiseismic specifications proposed by the standard E.030, designed a prototype of housing made of adobe of a floor. Horizontal seismic force was developed using the methodology established, such as zoning and use factor. Found horizontal force was 0.40 of the weight of the structure. The live load used was 150 kg/m<sup>2</sup> and the dead of 50 kg/m<sup>2</sup>. The walls of adobe support all efforts of gravity and compression presented, but are unable to cope with the traction produced by the bending out of the wall. Therefore the mesh produced by the union of fibres or threads of henequen, was developed to resist such efforts. According to the regulation maximum tractive effort which can resist the adobe is 2 kg/cm<sup>2</sup>. Having exceeded this value in the majority of walls, was implemented the use of the natural mesh woven with fibers of this material, using the finite element method in the SAP. Using us data set as the last of the henequen traction resistance, developed design of the meshes woven with fibers. The results indicated their feasibility. The greatest amount of fiber threads per centimetre was 16 and the minimum is 9. Being in this way its easy preparation and operation implementation.

Key Words: House adobe, sisal fiber, costa Ica, earthquake, finite element, SAP program.

### III. INTRODUCCIÓN

Esta tesis se basa en el estudio del adobe reforzado con henequén en edificaciones de una planta. Su proceso constructivo y estructura es bastante inseguro en zonas en donde se levantan viviendas con este material, ya que se hallan generalmente en regiones altamente sísmicas y de suelos inestables; además de ser el adobe -por sí mismo- un material poco resistente a las fuerzas de tracción producidas por un terremoto. En consecuencia bastante frágil y sujeto al colapso y derribo si es que no cuenta con el elemento de refuerzo debido. Hoy en día existen nuevas tecnologías en el rubro, como la malla electrosoldada y la geomalla, ésta última cuya labor es principalmente la de dotarle más resistencia a la estructura de adobe, haciéndola menos vulnerable y más sólida que las existentes, ya que su composición y forma le da mayor capacidad de resistencia al corte y la tracción originadas en un sismo. Reemplazaremos la tecnología del refuerzo con estos materiales, que suelen ser costosos y no accesibles al medio rural, por fibras naturales al alcance de los pobladores en las áreas rurales y lograr de esta manera una edificación fuerte y más segura frente a un inminente movimiento telúrico. El sitio escogido fue la franja costera de la Región Ica. Una zona predominantemente sísmica, en cuyo lugar ocurrió un terremoto catastrófico el 2007 y en donde la amenaza está siempre latente. Siendo el riesgo mayor para los pobladores que habitan sus viviendas, por un lado al ser más susceptible (dicha vivienda) debido a la zona donde está ubicada: altamente sísmica; y por otro al poseer una estructura débil e inerte que facilita la ocurrencia del derrumbe del material, con consecuencias fatales como la pérdida de vidas humanas. Posteriormente a todos estos eventos ha nacido una serie de investigaciones teóricas y prácticas, por parte de instituciones académicas y organizaciones afines, como la PUCP<sup>1</sup>, CISMID<sup>2</sup>, Sencico, Ministerio de Vivienda, ONG, etc.; con el fin de trabajar en el desarrollo de nuevas tecnologías para el adobe. Existe una gran preocupación de profesionales y científicos en formular nuevos sistemas, métodos y técnicas para reforzar de forma más eficiente y estable las construcciones de adobe. Principalmente después de los recientes sismos acaecidos en el país, y que han puesto en el foco de la opinión pública la necesidad de generar nuevas formas de disminución del impacto de un terremoto, con el fin de establecer viviendas más resistentes y seguras. En este caso planteando la posibilidad del uso de mallas de fibras naturales ya probadas desde la época de los incas, quienes construían puentes colgantes muy fuertes con estas fibras. Aquella será la que provea de mayor fortaleza a una edificación porque trabaja muy bien a fuerzas de tracción y de flexión propias de un movimiento telúrico, por la facilidad de su manipulación y aplicación, además de su elevada practicidad y reducido costo. El problema es el poblador que muchas veces es reticente a dichos procedimientos, ya que ha adoptado a la autoconstrucción con adobe tradicional como su propio método, por ser más simple y barato. Cabe resaltar que el adobe es del tipo de vivienda predominante en la zona rural del país, de la zona más alejada de las ciudades y servicios básicos, que no cuentan con recursos económicos y conocimientos al respecto; ya que según el INEI, en su censo realizado el 2013, el 47 % (3 688 452 viviendas) son de material frágil, entre ellas principalmente el adobe. De estos el 37 % de viviendas son de adobe, 22% en la costa, 69%

---

<sup>1</sup> PUCP: Pontificia Universidad Católica del Perú.

<sup>2</sup> CISMID: Centro de Investigaciones Sísmicas y Mitigación de desastres.



en la sierra y 15% en la selva. Se pone de manifiesto la posibilidad de considerar el uso de mallas tejidas con fibras naturales como el Henequén (*Agave Fourcroydes*), aplicado en el reforzamiento de las estructuras hechas de adobe principalmente en edificaciones de viviendas. Es importante ya que nuestro país concentra una amplia cantidad de zonas rurales pobres desprovistas de condiciones habitables óptimas y de viviendas de tierra sin calidad y seguridad. Tal es el caso del sector costero en la Región Ica, en la provincia de Pisco, donde el último terremoto del 2007 dejó en evidencia y mostró el alto grado de debilidad en la que se encuentra, ya que ocasionó la caída y destrucción de muchas viviendas circundantes. El material de construcción preponderante en Ica es el adobe, los pobladores realizan autoconstrucción sin capacitación técnica, usando productos inestables y procesos constructivos que no contemplan los esfuerzos generados por la actividad sísmica. Las viviendas de adobe, en especial las situadas a lo largo de costa peruana, tienen una alta vulnerabilidad sísmica debido a su baja resistencia a las fuerzas de tracción provenientes de la flexión, dada su configuración estructural. Si bien el comportamiento sísmico de estas estructuras puede ser investigado con ensayos experimentales, estos ensayos son costosos y, a veces, no es fácil realizarlos debido a las limitaciones de los laboratorios. En ese sentido, los análisis numéricos con elementos finitos son una alternativa viable al trabajo experimental. En este trabajo se propone un procedimiento basado en el Método de los Elementos Finitos (FEM) ensayado bajo la tecnología SAP, para reproducir el comportamiento en el plano de muros de adobe sin reforzar y reforzados. Este procedimiento considera la representación de la albañilería de adobe mediante un modelo plástico con degradación para simular el daño. El refuerzo usado (malla natural) es representado como una capa equivalente elástica, sin resistencia a compresión, colocada en ambas caras de los muros en forma envolvente o de amarre. La resistencia a la tracción de la fibra del *Agave Henequén* –con la que se diseñó la malla- fue de 550 MPa, o sea 5 550 Kg/cm<sup>2</sup>, valor recogido del trabajo de López el 2008.

- Objetivo Principal:

- Proponer el refuerzo sísmico en una vivienda de adobe de una planta, utilizando la fibra natural *Agave henequén* como malla tejida, en la zona costera del departamento de Ica.

- Objetivos Específicos:

- Proponer la verificación sísmica de la estructura según la Norma Técnica Peruana E.030, y con los parámetros de la norma E.080.
- Contribuir al conocimiento sobre el modelamiento numérico con elementos finitos de muros de adobe reforzado con fibras naturales.

#### **IV. REVISIÓN DE LITERATURA**

En los inicios de la humanidad y -desde la antigüedad- el uso del adobe ha sido ampliamente difundido alrededor del mundo y a través de vastas civilizaciones y culturas. Los primeros hombres construyeron sus habitaciones con tierra, y a través del tiempo fueron familiarizándose con sus características y propiedades. La arquitectura y la construcción son importantes manifestaciones de la civilización moderna expresada en los materiales y sus sistemas o métodos de uso. En el Perú estas manifestaciones tuvieron gran incidencia desde la época prehispánica, pasando por la etapa colonial, hasta finalmente acaecer en nuestra era moderna. Cada una de las cuales, y en nuestro tiempo, con sus propias tecnologías empleadas y operativas. En el Perú es común ver pequeñas edificaciones hechas de adobe, sobre todo en las zonas rurales más alejadas, en donde la accidentada orografía y el relieve de la zona no les permite a los pobladores acceder a los ejes principales de comunicación e intercambio comercial, por consiguiente vieron la necesidad de utilizar los recursos locales disponibles a la mano como la tierra, porque aquella es abundante y barata. También se pudo observar construcciones de adobe en ámbitos cercanos a los polos urbanos, esto debido a que el costo del material es económico, y aunado a que no requiere de un proceso constructivo muy depurado, siendo aplicado el principio de autoconstrucción, basado simplemente en el empirismo, sin ninguna capacitación e instrucción referente: técnicamente deficiente.

Los fenómenos naturales han generado las catástrofes naturales más desastrosas a lo largo del tiempo y desde los albores de las primeras civilizaciones -en forma dramática- causando fuerte incidencia en la evolución de los núcleos urbanos. Sin embargo, los historiadores se han ocupado del impacto inmediato del desastre natural, quedando menos comprendida su influencia en el mediano y largo plazo. Las erupciones volcánicas y los terremotos constituyen un tema especial dentro del estudio del impacto de estos eventos ya que no sólo destruyen viviendas y obras de infraestructura, sino que también modifican las actividades agrícolas que permiten sostener la vida urbana. Así, los terremotos, aunque episódicos, alteran la vida cotidiana y modifican la evolución de la sociedad (Margarita Gascón; 2011). El suelo peruano se encuentra bajo un contexto de múltiples peligros, debido a su compleja conformación geológica y geodinámica: muy activa y viva. Asociada a una complicada configuración morfológica y topográfica, influyó totalmente en su variabilidad ambiental, que también bajo el influjo del cambio climático global, dio lugar al incremento de la frecuencia e intensidad de los eventos potencialmente destructivos. Estos escenarios de peligros o amenazas corresponden a espacios donde se han registrado eventos ocurridos en el pasado y también donde, de acuerdo con los estudios de riesgo, se determina una mayor probabilidad de ocurrencia de los fenómenos. 'Los factores que son considerados para la identificación de estos cuadros son los siguientes: las características y el tipo de variabilidad climática; las características de la sismicidad y vulcanismo; y los procesos de geodinámica externa' (Antonio Cerna, 2014).



Figura.1 Casa de adobe. Fuente: San Bartolomé, 2005.

#### 4.1 SISMO

‘Es definido el Sismo o terremoto, como el movimiento de la corteza terrestre y la vibración del suelo, causado por la energía mecánica emitida desde los mantos superiores de la corteza terrestre, en una repentina y abrupta liberación de una deformación acumulada bajo un volumen limitado’ (Arantza Ugalde, 2009). El paso de un camión, de un tren, en una carretera por ejemplo, pueden producir una pequeña vibración en la superficie terrestre, este fenómeno podemos relacionarlo o catalogarlo como un microsismo o un temblor. Una erupción volcánica o un movimiento distrófico pueden originar una vibración fuerte dando lugar a un microsismo o terremoto. ‘Los observatorios registran centenas de millares de sismos cada año en todo el mundo. Afortunadamente, de todos ellos, muy pocos alcanzan la categoría de terremotos y gran parte de ellos ocurren en los fondos oceánicos (generando Tsunamis) o en regiones despobladas pasando desapercibidos’ (Víctor Zelaya, 2007).

El origen de los sismos varía en un rango distribuido dentro de las profundidades que van entre 0 a 700 km. Para fines de estudio, se define el Hipocentro como un tipo de sismo originado en un volumen pequeño, por debajo de la tierra, el cual se representa mediante un punto. La proyección vertical, llamada Epicentro, que se ubica sobre la superficie de la tierra, del punto que representa el hipocentro, es una medida de referencia universal que parametriza un movimiento telúrico.

Los sismos se producen como movimientos convulsivos de la corteza terrestre. Se clasifican en Microsismos cuando son imperceptibles y no causan daños significativos. Macrosismos cuando son sentidos por el hombre y que sí ocasionan daños considerables. Y los megasismos que consisten en movimientos poderosos y violentos que producen la destrucción de edificios y la ruina de ciudades, convirtiéndose en cataclismos repentinos y sumamente letales, con gran número de víctimas en su accionar. Los macrosismos y megasismos son llamados cotidianamente terremotos.

‘Las causas de los sismos son: la actividad volcánica y el diastrofismo’ (Rosa María Mateos, 2013). Si observamos un mapamundi, se pueden ver que las áreas volcánicas y las zonas sísmicas coinciden, esto dio como deducción, en un origen, a que se pensara por mucho tiempo que la causa principal de los terremotos eran las erupciones volcánicas. Ciertamente es

que los volcanes al entrar en actividad pueden producir fuertes sismos, pero estos son de tipo local y de menor intensidad que los sismos de origen distrófico. Las numerosas investigaciones que se realizaron en el mundo indicaron que los sismos más fuertes, cuya dimensión sacudió la litósfera, fue un fenómeno debido al diastrofismo. Cuando se origina una falla, o cuando se deslizan los bloques a lo largo del plano de falla, estas producen sacudidas de la corteza terrestre. Los sismos de esta clase son los llamados tectónicos (Biblioteca de Investigaciones, 2014).

Las zonas de mayor sismicidad en el mundo son: Zona del Círculo del Fuego del Pacífico (Ej. Perú, Chile y Japón); Zona Alpina Mediterránea (Ej. Yugoslavia). El Perú es uno de los países de Sudamérica ubicados dentro del “Cinturón del fuego del Pacífico”, un área que engloba más del 80% de la actividad sísmica en el mundo.

Los sismos pueden ocasionar cambios en el relieve, grietas externas, deslizamientos, avalanchas, variaciones en el curso de los ríos, etc. Generalmente los efectos más desastrosos del sismo se producen en las zonas densamente pobladas. Los tipos de daños debido a sismos pueden dividirse en tres:

- a) Daños en las estructuras causadas por la Fuerza Sísmica.
- b) Daños en las estructuras causados por las deformaciones del suelo.
- c) Daños en las estructuras causados por otros desastres naturales.

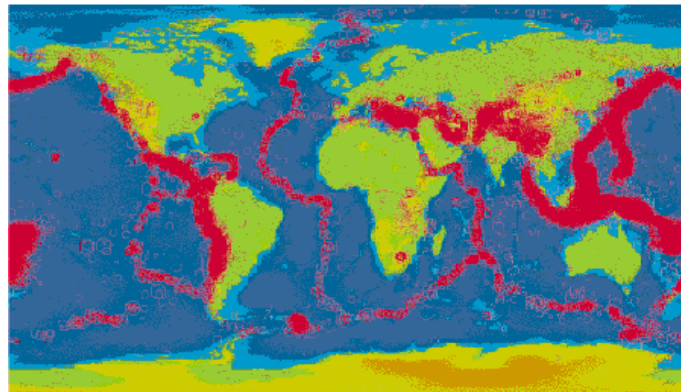


Figura. 2 Zona Sísmica en el mundo. Fuente: Zelaya, 2007.

Las premisas fundamentales para la predicción de sismos son:

- a) Medida de la deformación de la corteza terrestre (chequeo de las velocidades de incrementos de la deformación).
- b) Observación de pequeños sismos (antes de un sismo severo, pequeño sismos se producen y pueden ser observados).
- c) Medida de la velocidad de propagación de las ondas (la velocidad de las ondas disminuye).

- d) Estudios geotécnicos.
- e) Estudios geomagnéticos.

Orlando Chuquizengo y Pedro Ferradas (2007) indicaron que en el país existen dos grandes regiones sismogénicas: la zona de subducción de placas tectónicas, generada por la interacción de las placas tectónicas Sudamericana (continental) y Nazca (submarina), las cuales interactúan, produciéndose un proceso de subducción de la placa de Nazca por debajo de la placa Sudamericana a razón de 9 cm/año, dando lugar a la generación de fricciones. Cuando estos esfuerzos son mayores a los que resiste la roca, esta se rompe y genera energía que es liberada de forma violenta a modo de ondas que se propagan y llegan a la superficie. Esta es la principal causa de los mayores terremotos registrados en el país a lo largo de su historia. Toda la franja costera y litoral del Océano Pacífico se configura así como los escenarios donde inciden los mayores terremotos del país, por lo que las ciudades y los pueblos de la costa sienten los mayores impactos.

El *Peligro Sísmico* es la probabilidad de que se presente un sismo potencialmente desastroso durante cierto período de tiempo en un sitio dado. Representa el peligro latente natural asociado al fenómeno sísmico capaz de producir daños sobre las personas, bienes y el medio ambiente.

La *Vulnerabilidad Sísmica* es el grado de pérdida de un elemento o grupo de elementos estructurales como resultado de la probable ocurrencia de un evento sísmico desastroso. Es una propiedad inherente de una estructura que puede entenderse como la predisposición de sus elementos a sufrir daño ante un determinado sismo. El daño depende de la acción sísmica y de la capacidad sismorresistente de la estructura. Entonces, la evaluación de la vulnerabilidad sísmica está necesariamente vinculada a la manera como se definen la acción y el daño sísmico.

El *Riesgo Sísmico* es el grado de pérdida, destrucción o daño esperado tras la ocurrencia de un determinado sismo y se puede estimar a partir del grado de exposición de la estructura y su predisposición a ser afectada por el evento sísmico.

La diferencia entre peligro y riesgo sísmico es que el peligro se relaciona con la probabilidad de ocurrencia del evento sísmico, mientras que el riesgo sísmico está relacionado con la probabilidad de que se produzca una pérdida de valor como consecuencia del mismo.

Clasificación de daños:

- Leves
- Moderados
- Graves
- Colapso parcial

- Colapso Total<sup>3</sup>



Figura. 3 Catastrófico terremoto. Fuente: Gutierrez y Manco, 2006.

## 4.2 ADOBE

‘La tierra como material constructivo tiene su origen en el descubrimiento de que al humedecerse, es plástica y fácil de moldear ya que contiene arcilla’ (Rocha Miguel, 2015). Luego, al secarse se endurece y puede alcanzar una resistencia importante a la compresión. La construcción con tierra se hace extensiva porque el material es fácilmente accesible y permite lograr espacios con bondades ambientales y ecológicamente sostenibles. Las casas de tierra tienen una alta capacidad de aislamiento acústico y térmico frente a situaciones extremas de frío o calor: son cálidas en invierno y frescas en verano. Su construcción sin consumo de energía agotable las convierte en edificaciones ecológicamente compatibles con la naturaleza. Las casas de tierra bien concebidas y construidas, pueden ser bellas por sus formas rústicas y grandes espesores de muros y también, si son bien mantenidas, pueden ser perdurables como lo demuestran los numerosos ejemplos de construcciones históricas que hasta el día de hoy se mantienen en el tiempo. La tierra seca, gracias a la presencia de arcilla, ofrece una resistencia considerable a esfuerzos de compresión; sin embargo, tiene escasa –o nula- resistencia a cargas que le produzcan esfuerzos de tracción. Los muros, que son los elementos estructurales más importantes de las construcciones de tierra, poseen buena capacidad resistente a cargas de gravedad. Cuando ocurre un sismo moderado o fuerte se generan en los muros (especialmente en los encuentros) esfuerzos de tracción que la tierra es incapaz de soportar. Los muros se agrietan y se separan en pedazos que luego se caen, arrastrando consigo a

---

<sup>3</sup> Gutierrez L., y Manco M. (2006). *Características sísmicas de las construcciones de tierra en el Perú*. Lima: PUCP.

los techos. 'Las fallas sísmicas de los muros de tierra simple son frágiles, súbitas, y muchas veces fatales para sus ocupantes' (Blondet, 2004).

No todos los suelos sirven para hacer adobe. En el caso de la arena sus granos inertes están comprendidos entre 0.05 mm– 2 mm, no tienen cohesión ni plasticidad. Las partículas de limo están comprendidas entre 0.005 mm– 0.05mm, parece ser una arena muy fina pues tiene escasa plasticidad. Se dice que algunos limos tienen cierta cohesión. Las arcillas con menos de 0.005 mm y los coloides son prácticamente escasos. Si hacemos el batido, lo primero que se asienta es la arena, luego el limo (demora de 30min a 1 hora) y por último la arcilla (3 horas). El limo y la arcilla son los finos que pasan la malla N° 200, en la criba granulométrica. En la proporción ideal para fabricar un buen adobe, el suelo debe tener entre 55% a 75% de arena, y entre 25% y 45% de finos (limo y arcilla). En el laboratorio se determina por sedimentación la determinación de la proporción. 'En forma práctica, con las manos se hace un rollo para palpar su textura y complexión' (Zelaya, 2007).

'El adobe es un material complejo, que por su comportamiento tenso e irregular -deformacional- requiere de modelos constitutivos avanzados' (Blondet y Vargas, 2011); los cuales se definen a través de parámetros idealizados que deben ser ajustados o calibrados óptimamente para reproducir, de la manera más cercana posible, el comportamiento del material ante cargas reales. 'La calibración de modelos numéricos de estructuras en general es muy importante si se desea obtener un orden aceptable de confiabilidad en los resultados arrojados por un modelo computacional' (Rodríguez y Pallares, 2003). Para lograr este grado de equivalencia se realizan pruebas de carga controlada sobre la estructura, donde se monitorean como mínimo las variables fundamentales del problema como la magnitud y posición de las cargas, desplazamientos o fuerzas internas, longitudes y secciones de elementos, y las características mecánicas de los materiales de la estructura medidas en laboratorio. 'El objetivo particular de la calibración es el de optimizar la eficiencia del modelo de elementos finitos en cuanto a la predicción de desplazamientos e indirectamente obtener resultados lo más cercanamente posibles a la realidad, aunque intrínsecamente todo modelo posee hipótesis y aproximaciones que son ineludibles y que marcan una restricción entre la coincidencia de lo real y lo modelado' (Oller, 2002).

Se pueden elaborar adobes simples y adobes estabilizados que son generalmente más conocidos. Hay diferentes métodos para estabilizar el adobe y en todas las mallas de fibra natural tejidas, se acopla como material de confinamiento. Se conocen cinco métodos para estabilizar el suelo:

Método 1: Alteración de calibres del suelo.

Método 2: Estabilización Mecánica.

Método 3: Estabilización Química.

Método 4: Estabilización combinada.

Método 5: Estabilización electro-química.

Las características de los suelos que tienen mayor influencia en la resistencia de la albañilería de adobe son aquellos en cuyo proceso de contracción por secado se presente la resistencia seca del material.



Figura. 4 Ensayo de Resistencia Seca. Fuente: Blondet y García, 2003.

La arcilla es el componente más importante del suelo ya que le provee de resistencia seca y causa la contracción por secado del suelo. Como se observa en la Figura.4, existen ensayos de resistencia para verificar la capacidad de la arcilla en el suelo, por medio de una mezcla de ésta con gravillas y arenas. Dándoles la forma necesaria no todos los suelos son aptos para fines constructivos.



Figura.5 Adobe secado al sol. Fuente: Vargas, 2007.



#### 4.2.1 PROPIEDADES MECÁNICAS DEL ADOBE

Los materiales utilizados en las construcciones de tierra dependen de su disponibilidad regional y de la condición económica de los pobladores. “La tecnología constructiva en los centros urbanos presenta mayores variaciones respecto a la tecnología constructiva autóctona, por ejemplo en el uso de planchas corrugadas de metal y de asbesto para techados, marcos de ventanas de fierro, enlucidos de mortero de cemento, entre otros” (Ottazzi, 2004). Las propiedades de los materiales dependen de su procedencia, ya sea del suelo o de la madera. Estas propiedades son medidas por diversos ensayos: corte, flexión y volteo.

- *Resistencia al corte:* Uno de los ensayos empleados que producen esfuerzos cortantes similares a los que se originan en un muro ante la acción de cargas paralelas a su plano, es el ensayo de compresión diagonal. Con los resultados de este ensayo se calcula la resistencia al corte.
- *Resistencia a la flexión:* La resistencia de un muro de adobe ante fuerzas ortogonales a su plano se calcula para la zona crítica del muro ubicada en sus esquinas superiores. Las fuerzas transversales generan flexión en los muros, la que ocasiona grietas en las esquinas superiores que luego se propagan hacia abajo. Estas grietas se deben a la poca resistencia del adobe a la tracción.

El volteo de un muro de adobe –ya que no existe volteo de una unidad de adobe- ante fuerzas ortogonales al plano se determina asumiendo que el muro se comporta como un sólido rígido.



Figura. 6 Ensayo sísmico a escala real. Fuente: Blondet (2004).

#### 4.2.2 LA VIVIENDA DE ADOBE EN EL PERÚ

El Perú está ubicado en la zona de mayor riesgo sísmico de Sudamérica, donde a través del tiempo confluyeron varias culturas que adoptaron la tradición de construcción con tierra: la pre-inca, la inca y la española. Las tecnologías imperantes fueron la mampostería de adobe, el tapial (mampostería de tierra apisonada), y la quincha (bastidores de troncos de madera, caña o fibras vegetales, rellenos con tierra). La construcción de tierra típica en el Perú es de tierra simple, sin ningún refuerzo sísmico. Hoy se emplea principalmente en el área rural y en las zonas periurbanas de muchas ciudades. “Existe también un importante stock de construcciones de tierra urbanas construidas en el pasado. Las casas coloniales de tierra y de la primera etapa republicana que han prevalecido, a pesar de la alta sismicidad de la costa peruana, son fuertes ya que tienen muros anchos en densidad suficiente en ambas direcciones” (Blondet y Vargas, 2007).

Actualmente, las viviendas de tierra en el Perú no solo se encuentran en zonas rurales, pues también hay muchas alrededor y en zonas urbanas. No obstante, poco a poco se ha ido perdiendo la costumbre de construir con adobe ya que como es bien sabido tienen deficiencias sismorresistentes, porque los moradores construyen sus muros más esbeltos, imitando configuraciones arquitectónicas de viviendas de albañilería confinada típica del área urbana.

En una construcción de adobe se deben tener presente las siguientes consideraciones:

- Evitar la mala calidad del adobe, es decir lo referente a la materia prima usada y a la técnica de producción.
- Evitar el dimensionamiento inadecuado del adobe, especialmente que su altura sea elevada.
- Construcciones con más de un piso de adobe son más vulnerables a los daños de un sismo.

\* *Ventajas:*

1. Accesibilidad.
2. Economía.
3. Mano de obra barata.
4. Requiere poco pulimento.
5. Durabilidad.
6. Resistente al fuego.

7. Aislamiento térmico excelente.
8. Producción sin consumo energético, ya que es producido a mano.
9. Producto biodegradable y reciclable.

*\* Desventajas:*

1. Requiere trabajo duro.
2. No es repelente al agua.
3. Poca resistencia a las fuerzas sísmicas.
4. Alto peso específico.
5. Poca rigidez lateral (Blondet, 2010).

Causas por lo que falla el adobe:

1. Mala calidad del adobe. Mala mezcla de insumos.
2. Dimensionamiento inadecuado.
3. Trabajo en tracción nulo.
4. Trabas inadecuadas y deficiencia en los encuentros de muros. Las juntas verticales no deben coincidir.
5. Deficiente mano de obra.
6. Deficiencia en el llenado de las juntas.
7. Vanos de puertas y ventanas muy anchas.
8. Porcentaje muy alto de vanos en una pared.
9. Mala distribución de vanos en un paño de muro, los vanos no deben estar cerca a las esquinas o a las paredes del arriostre.
10. Carencia de viga collar.
11. Techos muy pesados y mala fijación de estos al muro, sin colaborar al confinamiento.

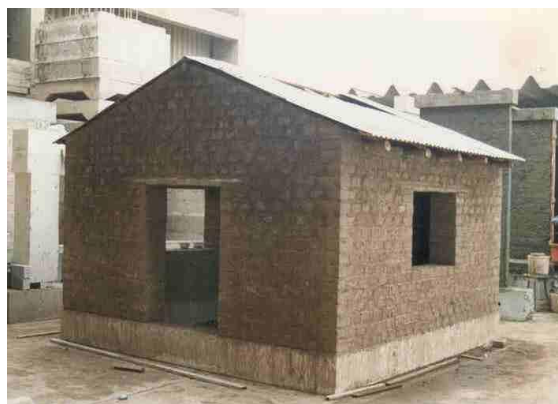


Figura. 7 Prototipo de vivienda rural. Fuente: Torrealva, 2009.

### **4.2.3 COMPORTAMIENTO SÍSMICO DE LAS CONSTRUCCIONES DE ADOBE**

Es bien conocido que las propiedades sismorresistentes de las construcciones de adobe no reforzadas son muy bajas. Los principales elementos sismorresistentes de las viviendas de tierra son sus muros. “La razón del mal comportamiento de estos últimos, ante eventos sísmicos en sus construcciones, se debe al gran peso de la estructura, a su baja resistencia (su comportamiento frágil) a la tracción y a su reducida adherencia al mortero” (San Bartolomé, 2007). Por eso las viviendas coloniales de tierra que sobreviven hasta hoy tienen gran densidad de muros -muy anchos y con pocas aberturas. Actualmente el terreno de la construcción es limitado en las zonas urbanas, por lo que las viviendas de adobe se construyen con muros más delgados, imitando además las configuraciones arquitectónicas “modernas” de las casas de ladrillo.

Cuando ocurre un sismo, el suelo se mueve en todas direcciones y transmite a los muros fuerzas de inercia sísmicas verticales y horizontales que el material deberá resistir. Los muros de tierra resisten bastante más los esfuerzos de compresión que los de tracción o los de corte. Por ello, las fisuras aparecen primero donde hay esfuerzos de tracción y de corte. Este es el inicio de un proceso de destrucción y deconstrucción que va cambiando la geometría resistente de los muros y por ende va redistribuyendo los esfuerzos, lo que puede agravar la fisuración. Si la acción sísmica continúa, este proceso puede terminar destruyendo la construcción. Preocupa entonces la debilidad del material tierra frente a fuerzas sísmicas que pueden ser muy grandes y que pueden actuar durante mucho tiempo, dependiendo de la severidad del sismo. Por su debilidad, las viviendas de adobe son las primeras en romperse durante los terremotos.

La forma de falla más común durante un sismo -en las construcciones de adobe- es la aparición de grandes grietas verticales en los encuentros de los muros, debido a fuerzas fuera del plano estos muros pueden caer ocasionando el colapso del techo. Otro tipo de falla común es la aparición de grietas diagonales en los muros, estas grietas usualmente siguen la interfase mortero-unidad de adobe. La seguridad sísmica de cualquier edificación no es homogénea en todos sus elementos. La distribución de esfuerzos

sísmicos en los muros no es uniforme. Los esfuerzos se concentran en zonas críticas como los bordes, las esquinas de los vanos, o los encuentros entre muros de diferentes características. Las concentraciones de esfuerzos de tracción y de corte están directamente asociadas a las fallas sísmicas. Blondet en el año 2004 dijo: “En la construcción con tierra la situación es crítica: por la debilidad y fragilidad del material se producen fisuras en los muros, estos se desconectan entre sí, la construcción se desarticula y se degrada rápidamente, los muros pierden estabilidad y se producen los colapsos parciales o totales de muros y techos”.

Las fuerzas sísmicas horizontales y perpendiculares a los muros provocan fuerzas de corte y momentos de flexión, respectivamente. Los momentos flectores, que producen esfuerzos de tracción y compresión en el material, son generalmente mayores en los apoyos (base y paredes laterales) y en el centro superior de los muros. Son en esos lugares donde aparecen las principales fisuras durante los sismos. En ensayos de simulación sísmica a escala natural se han observado que primero aparecen grietas verticales en las esquinas de los muros. Si el movimiento sísmico es lo suficientemente intenso, las partes superiores del muro agrietado se llegan a separar, se golpean con los muros transversales, pierden estabilidad y colapsan fuera de su plano en una falla por volteo. Las fuerzas sísmicas horizontales que actúan en el plano de los muros generan fuerzas cortantes que producen grietas diagonales (también conocidas como de tracción diagonal), que muchas veces siguen las líneas escalonadas de las uniones de mortero entre adobes, tal como se aprecia en la figura 8.



Figura. 8 Grietas producidas ante la simulación sísmica. Fuente: Blondet (2004).

Los tipos principales de falla, que generalmente se presentan combinados, son los siguientes:

1. Falla por tracción o volteo en los encuentros de muros, que se debe principalmente a los esfuerzos de tracción directa que se producen en alguno de los muros, al dar arriostre lateral a otros muros del encuentro, este cuadro se agudiza cuando a este se superponen los esfuerzos de flexión propios del movimiento sísmico.

2. Falla por flexión: Se debe a los esfuerzos de tracción por flexión, al actuar el muro como una losa apoyada en su base y en los elementos verticales que lo arriostran. La falla puede ocurrir en secciones horizontales, verticales u oblicuas.
3. Falla por corte: Se genera cuando el muro trabaja como muro de corte. Se debe principalmente a los esfuerzos tangenciales en las juntas horizontales (Ver Figura 9).



Figura. 9 Ensayo experimental de falla por corte. Fuente: Blondet, 2004.

Ante el problema se han estudiado las siguientes soluciones:

- Cables o fajas horizontales exteriores, cuya función es evitar el volteo y el desplome de los muros. Estos normalmente se colocan en la parte superior de la estructura.
- La colocación de una viga solera en la estructura, que pese a ser efectiva, es una medida costosa.
- La colocación de cables o fajas verticales, principalmente para la reparación de muros esbeltos o delgados. Este método es de manipuleo y fácil disposición, sin embargo altera la apariencia de los muros.
- La colocación de un núcleo central flexible, ya sea con barras de acero o fibra de vidrio, cuya desventaja es el costo elevado y la dificultad de aplicación.
- Colocación de grapas locales para controlar fisuras, la cual es más que nada una solución complementaria. Es bastante económica y simple.

- Colocación de malla electrosoldada, malla de polímeros (geomalla), o fibra natural como el Henequén, de manera que se confinan al muro, formando –o actuando– como vigas y columnas.

#### **4.3 MALLAS TEJIDAS CON FIBRAS NATURALES**

La acción de un refuerzo de mallas fijas a los muros de adobe es el objetivo del presente documento, como elemento del diseño sísmico. Este refuerzo dio resultados satisfactorios y favorables en el comportamiento ante sismos a modo metodológico, haciendo un modelamiento. El refuerzo sísmico de la vivienda consiste en una malla del material natural tejido, que envuelve completamente a los muros de adobe. Se plantean mallas tejidas con fibras naturales. En poblaciones antiguas existen antecedentes de conocimientos ancestrales para el tejido de estas mallas. En este estudio vamos a utilizar la fibra natural conocida como Henequén.

La malla planteada proveerá confinamiento, resistencia y rigidez adicional a las paredes de la vivienda de un piso propuesta. Durante los terremotos fuertes, las paredes se agrietan y separan, pero la malla, al ser resistente y tener capacidad de deformación, mantiene a los muros juntos, y así limita los daños, previniendo el colapso de la vivienda. Para que trabaje en forma efectiva, la malla debe ser embebida a la cimentación, siendo colocada firmemente sujeta a ambas caras de los muros, y luego unida a una viga collar de madera o la que se elija, colocada en la parte superior de los muros. La malla se fija a las paredes de adobe y debe ser cubierta con un enlucido de barro. El enlucido es muy importante ya que protege a la malla de agentes externos y provee de mayor resistencia y rigidez a los muros. Siendo ésta la que soporta los esfuerzos de tracción generados por la flexión debido a la fuerza ortogonal al plano del muro producido en un sismo. Después de que el muro de adobe falle al ser rebasado su esfuerzo permisible, la malla le confiere fortaleza y estabilidad: no permitiéndole el desplome de la unidad.

La forma de amarre de la malla tejida con fibra natural es envolvente, recubriendo al muro de adobe por ambas caras, como- se precisa- una envoltura o forro tanto interno como externo. La malla de fibra natural debe estar bien pegada a las paredes de adobe para que su funcionamiento sea el esperado. Para esto, están preconcebidas las dimensiones de la red tejida, obtenidos en el análisis haciendo el diseño respectivo. Una vez confeccionada se corta y coloca las mallas en los muros; por un lado se envuelve el muro externo e interno de una sola vuelta, siempre y cuando no se ha construido aún el techo: en el caso de que se está construyendo la edificación. Por otro lado – si es que la construcción ya fue culminada- se coloca la malla sobre cada pared y se traslapa en la viga collar. La malla se fija a los extremos del muro mediante cuerdas, simulando una suerte de amarre, tejiendo estas cuerdas con los traslapes de la malla, en la base como en la viga. En las paredes las mallas deben traslaparse por lo menos 25 cm unas sobre otras, en las esquinas 65 cm. Procurar, en la mayor medida, evitar los excesivos traslapes, esto permitirá tarrajear las viviendas fácilmente. Se

deberá fijar las mallas con grapas de acero, cada 30 cm a lo largo y ancho del muro. Jamás debe clavárseles, ya que disminuye la resistencia del conjunto. Cabe recalcar que el tejido será muy fuerte y de una forma totalmente convencional, regular y rectangular con los hilos siguiendo la dirección longitudinal y transversal del muro.

La función del tarrajeo (con torta de barro) reside en que protege a la malla de los rayos solares, con el correspondiente aumento de la resistencia del muro (en tracción) de la vivienda. Antes de esto, se deberá verificar que la malla se encuentre templada y bien fija. El tarrajeo se aplica en dos capas, de forma simple. El mortero de barro utilizado será casi el mismo, con la salvedad de que deberá agregársele más paja. La primera capa será de 2 cm de espesor, y será puesto en una superficie un poco húmeda (para mejor adherencia). La siguiente capa se colocará un día después, cuyo espesor será ahora de 0.5 cm. Emparejar y sellar sutilmente para darle el acabado y una mejor sujeción, si es que apareciesen grietas resanarlas.



Figura. 10 Malla tejida con fibra natural. Fuente: Otero, 2000.

#### **4.4 AGAVE FOURCROYDES O HENEQUÉN**

El vocablo tiene un origen antillano, que denominaba de esa forma al aloe o sábila. Los españoles le dieron esta denominación para llamar así a todas las plantas similares que fueron encontrando a su paso en sus largas travesías. La historia del origen y difusión del henequén resulta de interés particular. Zayas (1921) explica que la palabra henequén no es de origen mexicano, su lugar más difundido, sino que procede del Perú, de la zona andina donde se hablaba el quechua como lengua autóctona. El género *Agave* pertenece a la familia de las *Agaváceas* y comprende numerosas especies originarias de las zonas desérticas de América. La mayor parte de las plantas son monocárpicas, es decir que florecen una sola vez en su vida y después de la floración y la maduración de los frutos, inevitablemente mueren. Es monocotiledóneo, crecen en zonas áridas y semiáridas, porque sus plantas rizomatosas y leñosas se adaptan perfectamente a estos climas.



El *Agave* también es conocido con los nombres de pita, maguey, cabuya, mezcal y fique. Precisamente el nombre de maguey fue el que prevaleció en nuestro territorio. Son plantas de porte arbustivo y de forma globosa. Producen hojas sésiles dispuestas en rosetas, lanceoladas, medianamente carnosas, de color blanco-azulado o blanco-grisáceo que acaban con una aguja fina, espinosas en sus bordes finales generalmente (Ver figura 11). 'Las flores están dispuestas en inflorescencias paniculadas o espigadas según la especie, que se forman en el centro de la roseta de hojas. El fruto es una cápsula leñosa con muy diversas formas, dehiscente con tres alas' (Arizaga, 1998).

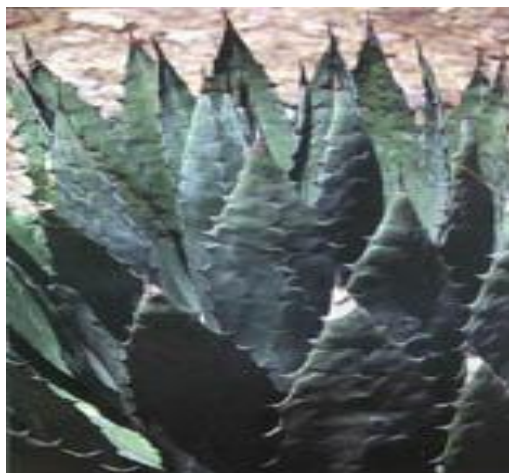


Figura. 11 *Agave americana* o maguey. Fuente: Otero, 2000.

Esta planta procede del continente americano, con una distribución que se extiende desde el sur de Estados Unidos hasta Ecuador y Perú, incluyendo todas las islas del Caribe. México es su país y centro de origen y desde el cuál se distribuyó en muchas variedades y tipos, basándose en su morfología. Ha sido utilizado desde la antigüedad, fue precisamente el hombre de Mesoamérica que empezó su uso hace 9 mil años, para satisfacer y complementar una serie de necesidades básicas: alimento, forraje, medicamento y construcción, entre otros.

El Maguey cumple un rol fundamental como cultivo a nivel agroindustrial, la mayor parte de las plantas se destinan para la obtención de bebidas alcohólicas con denominación de origen como el tequila y el mezcal, así también, una parte del maguey cosechado se destina para la obtención de fibras. Tiene una gran cantidad de azúcares fermentables, los cuales se pueden utilizar para la producción de aditivos alimentarios como son los jarabes de fructosa o la inulina, mostos fermentables para la producción de aditivos alimentarios como el ácido láctico o la enzima transglutaminasa.

El *Agave* presenta un alto contenido de sólidos (33%). Los fructanos representan aproximadamente el 70% de los sólidos solubles, estos compuestos son de gran importancia para la obtención de jarabes.

- Humedad 67%
- Sólidos solubles 33% (Celulosa 36.20%, Fructano 69.75% y Lignina 17.02%).

El Agave se ha caracterizado por su multiplicidad de usos, desde tiempos muy remotos, pues lo utilizaban como alimento, para la obtención de fibras que usaban para el vestido, para la construcción y también para el uso doméstico y rural.

- Alimenticios: Aguamiel, jugo dulce, jarabe, miel, vinagre, aguardiente, mezcales, guisos, postre, azúcar, saborizante de tamales y pan, levadura, condimento, barbacoa, mezcal dulce y fructosa.

El uso alimentario de la especie ha sido y es todavía muy importante. Los troncos y la base de las pencas de algunas especies se comen asados. Los tallos florales tiernos se pueden consumir asados o cocidos al igual que los bulbillos y las flores de algunas especies. El aguamiel, que es la savia de la planta, es un gran alimento que se toma como tal o concentrado en forma de miel o chancaca. Este aguamiel, por diversos procedimientos, permite obtener bebidas estimulantes o fermentadas como el pulque, similar a una chicha; y del líquido obtenido del corazón asado, se producen por destilación, aguardientes de alta graduación alcohólica como el mezcal y tequila. En los países andinos desde Colombia y Venezuela hasta Ecuador y Perú, se aprovecha el aguamiel para la fabricación de bebidas fermentadas, pero también consumida como aguamiel, miel o azúcar (chancaca).

- Tejidos y vestuarios: Hilos, cordeles y tejidos para costales, bolsas, ceñidores, mantas, telas, tapetes, morrales, sandalias, etc.
- Construcción: Vigas, garrochas, cercas para delimitar, techos o tejados, canales para conectar agua de lluvia, bateas para mezclas. Y en nuestro estudio, las fibras entretejidas en mallas formando una especie de sogas que – por ambos lados- amarra al muro, tomando los esfuerzos de tracción del muro de adobe.
- Doméstico: Jabón para ropa, cepillos para lavar, cepillo y escobas, canastas, clavos y recipientes.



Figura. 12 Planta henequén. Fuente: Arizaga, 1998.

El henequén es originario de México, específicamente del estado de Yucatán, en donde fue conocido en su época de esplendor a mediados del siglo XIX, como el oro verde. Tuvo un predominio de 150 años en la que se cultivó esta especie a gran escala, siendo a partir de ahí difundido a otros territorios en todo el mundo masivamente. La palabra henequén es de origen quechua.

La planta del henequén es perenne, sus hojas crecen desde el suelo, grandes, lanceoladas y carnosas de color blanco-azulado o blanco-grisáceo, saliendo todas desde el centro donde permanecen enrolladas a un tallo central donde se van formando hasta su separación, con espinas en su borde de casi 2 cm., muy agudas y finas. Todas las hojas terminan en el ápice de una aguja fina de unos 5 cm. de longitud y de hasta 1 cm. de ancho en su parte menos extrema. Florece una sola vez en su vida en un tallo de unos ocho o diez metros y una anchura superior a los 10 cm. de diámetro. Desde más de la mitad de su longitud van saliendo pequeñas ramas en forma de pirámide terminando cada una en un grupo de flores, cada flor tiene un tamaño de unos 5 a 10 cm. “Tiene reproducción sexual y asexual, la sexual es a través de la inflorescencia con la producción de semillas, la asexual es a través de hijuelos (vástagos). La más empleada es la asexual, cuyo porcentaje de germinación se encuentra por encima del 90%, a diferencia de la sexual” (Otero, 2000).

Puede llegar a vivir hasta los 25 años. Se considera como una planta de naturaleza privilegiada, pues no es afectada ni por la escasez ni por la abundancia de lluvias. El cultivo del henequén se desarrolla en forma natural, ya que no se usan fertilizantes ni pesticidas durante su ciclo vegetativo. Después de una larga espera, 8 a 9 años posteriores a la siembra del maguey la planta llega a su madurez; son los campesinos los que conocen la edad adecuada del agave para cortarlo y utilizarlo en el procesamiento. Anualmente se pueden cosechar alrededor de unas 15 pencas por planta.

Usos:

Las fibras contenidas en sus hojas llamadas pencas, se utilizan para la fabricación de hilos, mediante el proceso de desfibración. Para la elaboración de sacos, cuerdas, cordones, redes, entre otros fines; también se utiliza en la artesanía como son las alfombras, tapices y hamacas.

El proceso de extracción de las fibras de las hojas de *Henequén* se realiza de forma manual y es conocido como enriado. Dicho proceso es prolongado, pues no se hace del todo manualmente; la hoja requiere ser horneada y luego sumergida en agua, antes de ser extraída la fibra. “El método de enriado es un proceso donde la parte no fibrosa es separada a partir del arrastre en dirección de la fibra de las partículas de corteza de las hojas que ya han perdido sus propiedades iniciales mediante la cocción y descomposición de la parte no fibrosa por la acción de las bacterias” (Pérez, 2013). Según Parra y Del Villar (2010), existen tres métodos aplicables del ablandamiento de pencas: a) humedecimiento de las pencas por inmersión a cielo abierto por dos semanas, b) predigestión o fermentado de las pencas en bolsas negras de plástico con y sin promotor bacteriano, que en este caso puede ser aguamiel, y c) cocimiento de las pencas. El desfibrado mecánico se ha encumbrado notablemente en comparación del tallado manual que ha ido perdiendo uso, porque demanda un menor esfuerzo físico en el desfibrado, aumenta la producción y por consiguiente se obtienen mayores utilidades en el corto plazo.

En el Instituto Politécnico Nacional en Oaxaca- México el año 2008, se desarrolló una investigación que caracterizó las propiedades mecánicas de las fibras de diversos tipos de agave. Isaías López determinó el comportamiento mecánico de tensión que identifica al henequén, halló las propiedades o atributos que caracterizan a las fibras extraídas de las hojas del agave en general, como densidad lineal, el área, y la forma de la sección transversal. En la tabla 1. Se puede observar, en unidades del sistema Internacional, los valores obtenidos en laboratorio que manifiestan las características individuales de cada fibra. Lo que nos interesa es el dato de la Resistencia última a la tracción, la cual representa la cantidad máxima que puede soportar la fibra de Henequén al ser sometida a cargas tractivas. “Las hojas se cortaron y clasificaron por niveles comenzando de la base hacia la punta de la planta, contabilizando un total de 13 niveles. Registrando las hojas por cada nivel se obtuvo 79 hojas en todo el agave. Para extraer la fibra se utilizó el proceso tradicional del enriado que consiste en las siguientes etapas: cocción, primera maceración, machacado, segunda maceración, desfibrado y secado. En todo el proceso se controló la ubicación de cada una de las hojas” (López, 2008).

Fibra	R U T [MPa]	M E [GPa]	% Def.	Referencia
<b>A. angustifolia Haw</b>	<b>324</b>	<b>17.5</b>	<b>1.99</b>	
A. sisalana (sisal)	412 - 764	9.4 - 15.8	2.5 - 5	Li et al., 2007
<b>A. fourcroydes (henequén)</b>	<b>511 - 635</b>	9.4 - 22	2 - 2.5	Cazaurang et al., 1991
A. americana	65 - 201	1.3 - 4.1	19.1 - 22.3	Bessadok et al., 2008
Curaua	500 - 1500	11.8	3.7 - 4.3	Satyanarayana et al., 2007
Jute	393 - 773	10 - 30	1.5 - 1.8	Satyanarayana et al., 2007

Tabla. 1 Resultados mecánicos entre fibras naturales. Fuente: López 2008.

### Protección:

Es una especie que no está en peligro de extinción, pero últimamente su producción se ha visto afectada. A pesar de que en la actualidad existen numerosas plantaciones, estas se han visto desfavorecidas por la falta de la demanda de fibras naturales que se han sustituido por las sintéticas. Esta fibra plástica o sintética no es tan resistente como la fibra del henequén (llamada soskil). Esta última soporta una mayor carga aplicada durante un mayor tiempo, sin estirarse ni romperse.

Por eso es preferible consumir los productos de origen natural, como los elaborados con la fibra del henequén, ya que estos no contaminan, además de poder utilizarla como planta ornamental.

El henequén es una especie que puede tolerar suelos áridos y semiáridos, ricos en nutrientes o sin él. Se amoldan bien a suelos rocosos y calcáreos. Soportan suelos con Ph variados, como los ácidos, alcalinos y neutros, con buena capacidad de drenaje, superficiales y permeables. De rápida infiltración y de prolongadas fluctuaciones en concentraciones salinas. Se adaptan a cualquier terreno, en suelos arenosos calizos; en suelos intermedios, ni muy secos, ni muy húmedos, y con cierta materia orgánica en su superficie.

El henequén es una planta de zonas áridas del trópico húmedo y seco. En cuanto al clima se adaptan perfectamente a climas secos y cálidos subhúmedos con lluvia en verano. Muy resistentes a la sequía. Tienen mejores resultados en su crecimiento fenológico sin vientos fuertes. Toleran un rango de precipitación entre 800 y 2000 mm, sin embargo soportan la aridez completa. Preferentemente en suelos de 5 a 100 cm de profundidad para su extensión radicular. “La escasez o exceso del agua no afecta en nada al cultivo, pero sobre todo no debe exceder la humedad. La altitud varía de los 3 hasta los 20 m sobre el nivel del mar. Toleran temperaturas que varían entre los 10 y 40 °C, y una humedad que no sobrepasa los 70 %. Son muy resistentes a la sequedad. El henequén se adapta y desarrolla mejor bajo el contacto directo del sol entre tanto crece del mismo modo en vegetaciones con sombra y caducifolias” (Otero, 2000).

El henequén es una fibra dura que presenta características que lo hace un cultivo muy ventajoso respecto a otros más exigentes, por ejemplo se puede cultivar en terrenos pedregosos y calizos no tolerados por otros cultivos. “Es una planta resistente a la sequía, a plagas y enfermedades; una vez establecido no requiere atenciones culturales exigentes, es decir, es un cultivo cuya producción es de muy bajo costo, además la cantidad de subproductos que de él se obtienen permite que la planta pueda ser aprovechada integralmente lo que lo convierten en una planta muy útil” (Escalante, 2010).

## 4.5 CONDICIONES NATURALES REGION ICA

### 4.5.1 LOCALIZACIÓN

La región Ica se halla ubicada en la parte central y occidental del territorio peruano, entre las coordenadas 12°57'42" y 15°25'13" de latitud sur y 76°23'48" y 74°38'41" de longitud oeste del meridiano de Greenwich. Posee una superficie de 21,327.83 km<sup>2</sup>, equivalente al 1.7% del territorio nacional, en el que reside el 2.6% de la población del país. El 89% de la superficie regional está ubicado en la costa y el 11% en la sierra. La provincia de Ica tiene una extensión de 7,894.25 km<sup>2</sup>. La altura de la región Ica oscila entre el nivel del mar y los 3,796 msnm. Tiene como límites políticos: por el norte con Lima, por el este con Huancavelica y Ayacucho, por el sur con Arequipa y por el oeste con el Océano Pacífico. En el censo del INEI para el 2015, los habitantes ascienden a 793 752.



Figura. 13 Mapa Político Ica. Fuente: Zelaya, 2007.

### 4.5.2 DIVISIÓN POLÍTICA

La región Ica está conformada por 5 provincias y 43 distritos. Su capital Ica, ubicada en el distrito y provincia del mismo nombre, se ubica en la zona central del territorio departamental. Son 306 km los que separa Ica de la ciudad de Lima.

PROV.	ICA	CHINCHA	PISCO	PALPA	NASCA
<b>DIST.</b>	ICA LA TINGUIÑA LOS AQUIJES OCUCAJE PACHACUTEC PARCONA PUEBLO NUEVO SALAS SAN JOSÉ DE LOS MOLINOS SAN JUAN BAUTISTA SANTIAGO SUBTANJALLA TATE YAUCA DEL ROSARIO	CHINCHA ALTA ALTO LARÁN CHAVÍN CHINCHA BAJA EL CARMEN GROCIO PRADO PUEBLO NUEVO SAN JUAN DE YÁNAC SAN PEDRO DE HUACARPANA SUNAMPE TAMBO DE MORA	PISCO HUÁNCAMO HUMAY INDEPENDENCIA PARACAS SAN ANDRÉS SAN CLEMENTE TUPAC AMARU INCA	PALPA LLIPATA RIO GRANDE SANTA CRUZ TIBILLO	NASCA CHANGUILLO EL INGENIO MARCONA VISTA ALEGRE
<b>TOTAL:</b> 43	14	11	08	05	05

Tabla. 2 División política administrativa de la región Ica. Fuente: INEI, 2005.

#### 4.5.3 CLIMA

El clima en la costa del departamento de Ica es templado y desértico. 'La humedad atmosférica es alta en el litoral y disminuye hacia el interior' (Perú-Info, 2016). Las precipitaciones son escasas y normalmente inferiores a 15 mm anuales. Excepcionalmente se producen lluvias de gran intensidad pero de corta duración que tienen un origen extrazonal. En su sector andino, las lluvias son estacionales y de mayor intensidad. Las temperaturas máximas absolutas alcanzan los 32,3°C en el mes de febrero y las mínimas absolutas 9,8°C en el mes de julio, en la ciudad de Ica. La insolación es alta en los desiertos de Pisco, Ica y Nazca. El viento Paracas, brisa marina de gran intensidad sopla en la zona de Pisco y Paracas contribuyendo a despejar los cielos de esta zona. El clima andino es templado cálido en la zona Yunga, templado seco en la Quechua y templado frío en la Suni. La orientación general del viento en el valle del río Ica no presenta cambios a través del año, pero sí en el curso del día, lo que se atribuye a la amplitud de la llanura pre-andina y su ubicación entre el Océano Pacífico y la Cordillera de los Andes. La orientación local del viento puede sufrir cambios provocados por la morfología de la zona, la orientación de las calles u otros factores. La evaporación es mayor en los meses de verano que en los de invierno, pero sus valores no son muy elevados, por lo que no son muy perjudiciales para la vegetación y para el henequén, adaptándose al suelo y al tipo de clima sin problemas, dada la fortaleza en su composición y a la dureza de sus hojas.

#### 4.5.4 SUELO

La ciudad de Ica se encuentra sobre depósitos eólicos, aluviales y fluvio-aluviales. Depósitos eólicos: formados por la acumulación de arena acarreada por el viento, que cerca al litoral forma dunas. En estos suelos la disgregación química de las rocas es insignificante por la casi nula presencia de humedad, siendo suelos áridos, con escasa cantidad de arcilla. Se acumulan en gran cantidad al oeste de Ica. Depósitos aluviales: Distribuidos a lo largo del cauce del río Ica. Están formados por la sedimentación del río Ica, los mismos que se caracterizan por ser materiales de naturaleza arenosa y limosa con arcilla. Sobre estos suelos se localiza la ciudad de Ica.

Depósitos fluvio-aluviales: Se ubican en las estribaciones de la cordillera que dan hacia el valle de Ica. Estos depósitos provienen de las quebradas que están al este de la ciudad de Ica y están compuestos por materiales de mayores dimensiones que las arenas, provenientes de los cerros circundantes y de la parte alta de las quebradas.

Zonas:

Zona I: está conformada superficialmente por terrenos de cultivo (limos), en estado semi compacto y poco húmedos ( $h=1.00$  m). Subyaciendo al suelo anterior se presentan suelos limosos, con presencia de óxidos y suelos arcillosos. Con baja humedad y plasticidad. El predominio de suelos finos es notorio. Esta zona lo conforma el oeste y sur-oeste de la ciudad.

Zona II: Está conformada por depósitos de arenas pobremente graduadas de grano fino a medio y redondeado, con mediano a poco contenido de finos no plásticos, baja humedad e intercalaciones de suelos arcillosos y limosos de poca potencia, a manera de lentes. Esta zona está conformada por el cercado de Ica y algunas partes de urbanizaciones cercanas.

Zona III: Está constituida por arenas pobremente graduadas de color beige amarillento tamaño fino, ligera humedad, estado poco denso a suelto. Estos suelos son de origen eólico y cubren grandes extensiones de terreno. El área involucrada es el norte y el extremo oeste del a ciudad de Ica.

El proyecto recae principalmente y se llevó a cabo en la ciudad de Ica y alrededores. En donde las condiciones dinámicas son las siguientes.

ZONA	SUELO PREDOMINANTE	CARGA ADMISIBLE (Kg / cm <sup>2</sup> )
1	ML	1.5 - 2.0 Kg / cm <sup>2</sup>
2	SM	1.0 - 1.5 Kg / cm <sup>2</sup>
3	SP	0.5 - 1.0 Kg / cm <sup>2</sup>

Tabla. 3 Tipos de Suelo en Ica. Mitma y Alva, 2002.



Lógicamente, se trabajó con base al mayor valor de carga admisible, tal como se indica en la Tabla 3.

#### **4.5.5 GEOMORFOLOGÍA REGIONAL**

Físicamente, el territorio de la región Ica se ha configurado en relieves fisiográficos cuya evolución está controlada por los macizos rocosos y rasgos estructurales, donde por los movimientos epigenéticos se ha emplazado la Cordillera de la Costa, y ha configurado el flanco disectado de la Vertiente occidental de la Cordillera de los Andes y la planicie costanera y valle, los cuales son reconocidos en el territorio peruano como unidades geomorfo-estructurales. El territorio se encuentra localizado en la vertiente occidental de la Cordillera de los Andes, que se caracteriza por el relieve irregular y accidentado, y en cuyos flancos o laderas las aguas superficiales, aprovechando las fracturas y las condiciones físicas de las rocas, han desarrollado las quebradas y valles. 'Al oeste de la región se levanta un macizo denominado Cordillera de la Costa conformado por relieves algo regulares que sintetiza el resultado de las intensas deformaciones terrestres' (Indeci, 2007).

#### **4.5.6 SISMICIDAD**

La consistencia en el conocimiento sobre la sismicidad de la región se enmarca en los aspectos geotectónicos, historia sísmica, fuentes sismogénicas, distribución espacial de la sismicidad de la región, intensidad sísmica y las aceleraciones máximas.

La región de Ica se ha configurado entre las unidades geotectónicas: Fosa Marina, Cordillera de los Andes, la Dorsal de Nazca y Sistema de Fallas.

Fosa Marina:

La Fosa marina es un tipo de lineamiento estructural del piso oceánico con una dirección Noroeste-Sureste y paralelo al litoral de la costa, representa el límite de contacto entre la placa oceánica de Nazca y la placa Sudamericana. Este límite tiene la forma de una fosa de gran extensión, la misma que alcanza profundidades de hasta 8000 metros. La fosa está formada por sedimentos que han sido depositados sobre rocas pre-existentes. La Fosa marina representa un espacio en el que ocurre la interacción de las placas continental y oceánica donde la primera mantiene un movimiento con una dirección hacia el noroeste y la segunda en una dirección hacia el este, y se extiende en dicha dirección a profundidades intermedias hasta los 350 Km (Ocola, 1989). Finalmente, el contacto de placas, conocido como subducción es causante de todos los sismos y procesos orogénicos que se desarrollan en el continente como la Cordillera de los Andes.

Cordillera de los Andes: La Cordillera de los Andes formado como producto del proceso de colisión entre la placa oceánica y la placa continental en diferentes procesos orogénicos, está conformada por rocas ígneas plutónicas que afloran en la superficie terrestre por procesos tectónicos. La Cordillera Andina se distribuye en el Perú en una dirección Noroeste-Sureste, alcanzando un ancho de 50 km aproximadamente en las regiones Norte y Centro hasta 300 Km en la región Sur. Así mismo, la Cordillera Andina se orienta en promedio en dirección NW-SE, aunque a la altura de la latitud de 130 S, esta se orienta en dirección E-W a lo largo de la deflexión de Abancay. Estudios de sismicidad, muestran que la Cordillera Andina tiene espesores del orden de 51 km en la región Central (Tavera, 1993); mientras que en la región Sur su espesor sería de 75 km aproximadamente. El desarrollo de la Cordillera de los Andes es joven, y se convierte en un macizo rocoso que ha controlado y alineado las estructuras tectónicas regionales en una dirección general noroeste- sureste configurando así la posición de pliegues y fallas.

Dorsal de Nazca:

Cadena montañosa que se localiza en el océano Pacífico entre 150 S a 190 S. La dorsal está constituida por rocas volcánicas con capas de minerales en los cuales predomina el hierro, magnesio, potasio, y sodios cálcicos (Marocco, 1980); siendo, estos minerales más comunes en la corteza terrestre. La estructura de la Dorsal de Nazca es producto de un proceso de distensión de la corteza oceánica y se estima que su formación tiene una edad de 5 a 10 millones de años. Estudios recientes sobre anomalías magnéticas, permite considerar la hipótesis de que la dorsal debe su origen a una antigua zona de acreción de la corteza.

Sistemas de Fallas:

Las fallas, cualquiera que sea su edad, son un peligro potencial vivo. Si esta reactivación es súbita producirá sismos que pueden ser destructores y muy violentos. En este sentido, en el mapa tectónico se presenta algunas de las fallas cuaternarias estudiadas y clasificadas de acuerdo a su potencial de actividad: activas y no activas; y en los tres tipos comunes de fallas: normales, inversas y transcurrentes o de rumbo. En el Atlas de Peligros Naturales del Perú - INDECI (Mapa Geotectónico – IGP, Ocola - 2002) se menciona que Huamán (1989) cartografió una serie de fallas a lo largo de la costa desde la frontera con Chile hasta Chala. Estas fallas son sísmicamente activas. En el departamento de Ica, se han reconocido fallas que pasan cerca de las ciudades de Marcona, Ica y Nazca. En el departamento de Lima se han reconocido las fallas de Montejato en San Vicente de Cañete, fallas de Asia, la falla San Lorenzo, entre otras.

#### **4.5.7 HISTORIA SÍSMICA**

Los sismos en la región Ica se refieren desde el siglo XVI, y el conocimiento con registro desde el siglo XIX y XX. Los parámetros y la ubicación de sismos ocurridos en el litoral peruano -y que afectaron la región Ica- se indicaron en el área de estudio. Los datos

históricos son bastantes generales en donde la sensibilidad de los sismos ha estado relacionada a intensidades y magnitudes generales a nivel de la Región Ica.

Esta zona –la del estudio- contiene un alto grado sismogénico. Hernando Tavera el año 2008 expresó: “La región central resulta ser muy heterogénea, debido a que durante los últimos 50 años ha dado origen a 7 terremotos de gran magnitud ocurridos en los años 1940, 1942, 1966, 1970, 1974, dos en 1976 y el último registrado el 2007. Todos con magnitudes superiores a 7.0 Ms y valores de intensidad mayores a VII en la escala de Mercalli Modificada (MM)”. Y continúa: “...La distribución espacial de las áreas de ruptura de estos terremotos cubren prácticamente toda la región central del Perú, dejando marcado la existencia de un área sin ocurrencia de terremotos recientes y que se ubica entre las localidades de Chilca (sur de Lima) y Pisco (Ica), con una longitud de 150 Km”.

En la zona sur del país sucedió un sismo en esta última década, el 30 de Enero del 2012, de magnitud media de 6.3 Ms; cuyo epicentro fue ubicado a 40 Km al sudoeste de la ciudad de Ica. El movimiento ocurrió a una profundidad de 49 Km (foco superficial), y barrió un radio perceptible y una incidencia de 300 Km alrededor ( $I_{max}=II$ ), siendo de agudeza mayor en la ciudad de Ica.



Figura.14 Distribución de terremotos en la zona central del país. Tavera, 2008.

La Figura 14 muestra el mapa de distribución espacial de terremotos para la zona central del Perú. Se indica el año en que se produjo el movimiento sísmico y su área de ruptura. Los valores entre paréntesis indican la magnitud (Ms) del terremoto.

Los terremotos de Lima (1974) e Ica (1996) dejaron una zona de laguna sísmica entre sus áreas de ruptura por varios años. El terremoto del 15 de Agosto del 2007 tuvo su epicentro frente a la ciudad de Pisco, ubicada en dicha zona de laguna sísmica.

Fecha	Hora (TMG) H M S	Posición		Profundidad Km	Magnitud	Región afectada
		Latitud Sur	Longitud Oeste			
24-08-1942	22-50-27	15.0	76.0	---	8.4	Nazca
30-09-1946	00-59-38	14.0	76.5	---	7.0	Pisco
10-12-1950	02-50-40	14.5	76.5	---	7.0	Ica
Marzo-1958	09-05-45	13.3	76.5	53	---	Pisco
15-01-1960	09-30-19	15.0	75.0	150	7.0	Nazca
28-09-1968	13-53-35	13.1	72.4	66	6.3	Mala-Pisco
15.08.2007	23-40-58	13.39	76.57	40	7.0 ML	Ica, Huancavelica, Ayacucho, Lima

Tabla. 4 Parámetros movimientos sísmicos en el Perú entre 1913 y 1975. Fuente: NNOA.

En el cuadro anterior, la información se refiere a sismos con parámetros donde los valores corresponde a sismos muy fuertes y que han sido de poca profundidad.

En general, la sismicidad histórica en la región de Ica ha alcanzado intensidades de IX y X, y magnitudes de 8.4, y se puede indicar que los sismos en el área de estudio son considerados muy fuertes y de profundidades someras.

Fuentes sismogénicas:

Ocola (2002), en el documento sobre el Mapa de Sismicidad Superficial del Perú, señala que cerca de Chiclayo hasta la latitud de Lima, la actividad sísmica superficial es de ambiente de colisión-subducción y se desarrolla por debajo del fondo marino en la plataforma continental. Además, de Lima hasta Chala (Arequipa), nuevamente la actividad sísmica está muy cerca de la costa, particularmente frente al departamento de Ica. El sistema de fallas desde Pisco hasta Chala aproximadamente, es paralelo a la costa, afecta las ciudades de Ica, Nazca y otros centros poblados. En las costas de los departamentos de Arequipa, Moquegua y Tacna se desarrolla un sistema de fallas activas que son un peligro potencial para las localidades de Ilo, Punta de Bombón, Mollendo, entre otras. El sismo del Puente Fiscal del 2001 es uno de los eventos asociados con esta estructura.

En general, la sismicidad de la región Ica está relacionada a la colisión de las placas Nazca y sudamericana, y probablemente a un reajuste cortical. Según las evaluaciones de los antecedentes sísmicos y el reconocimiento de campo, se permite sostener que el comportamiento sísmico de la zona donde está asentada la ciudad de Ica corresponde a un ambiente de choque de las placas continental y oceánica, anteriormente mencionadas.

#### Distribución espacial de la sismicidad en la Región:

En la región Central, la sismicidad en relación de la profundidad de los focos, mantiene una pendiente que va entre los 25° a 30° aproximadamente y a partir de los 450 Km de distancia desde la Fosa marina, los focos de los sismos tienen una distribución prácticamente horizontal hasta una distancia de 950 Km aproximadamente. Ocola (2002), en el Mapa de Sismicidad Superficial del Perú localiza los sismos registrados de Enero 1900-Junio 2001 con focos de profundidad 0-32 km., donde la actividad sísmica superficial de colisión-subducción se desarrolla por debajo del fondo marino en la plataforma continental con una distribución de los focos sísmicos desde cerca de Chiclayo hasta la latitud de Lima. Desde Lima hasta Chala (Arequipa), nuevamente la actividad sísmica está muy cerca de la costa, particularmente frente al departamento de Ica.

#### **4.5.8 EL TERREMOTO DE PISCO**

El 15 de agosto del 2007 a las 18:40 hrs. (hora local) se produjo un gran terremoto de 7.0 en la escala de Richter (ML) frente a la zona de Pisco, el cual tuvo una duración aproximada de 210 segundos y que afectó a los departamentos de Lima, Ica y Huancavelica. El epicentro del terremoto, con coordenadas 13,49° S y 76,85° W, se ubicó a 74 km al oeste de la ciudad de Pisco y a 26 km de profundidad (Tavera, 2008). La intensidad del terremoto, en la escala de Mercalli Modificada (MM), en ciudades como Pisco y Chincha fue de VII-VIII. Se observó el colapso de viviendas de adobe y quincha, y construcciones de albañilería y concreto sufrieron serios daños, llegando a colapsar alguna de ellas. Además, se presentó licuefacción de suelos en la zona de Tambo de Mora. En la ciudad de Ica la intensidad alcanzada fue de VII. Viviendas de adobe de esta ciudad sufrieron grandes grietas y colapsos parciales y totales. Además, la Iglesia del Señor de Luren presentó graves daños. En la ciudad de Lima la intensidad fue VI. Hubo pánico general y las personas huyeron hacia los exteriores de edificios y viviendas. Se observó la oscilación de postes de alumbrado público. Ciudades como Arequipa, Moquegua y Piura tuvieron intensidades II-III. La Figura 15 (INDECI, 2008) muestra el mapa de intensidades (MM) ocasionadas por el terremoto de Pisco.

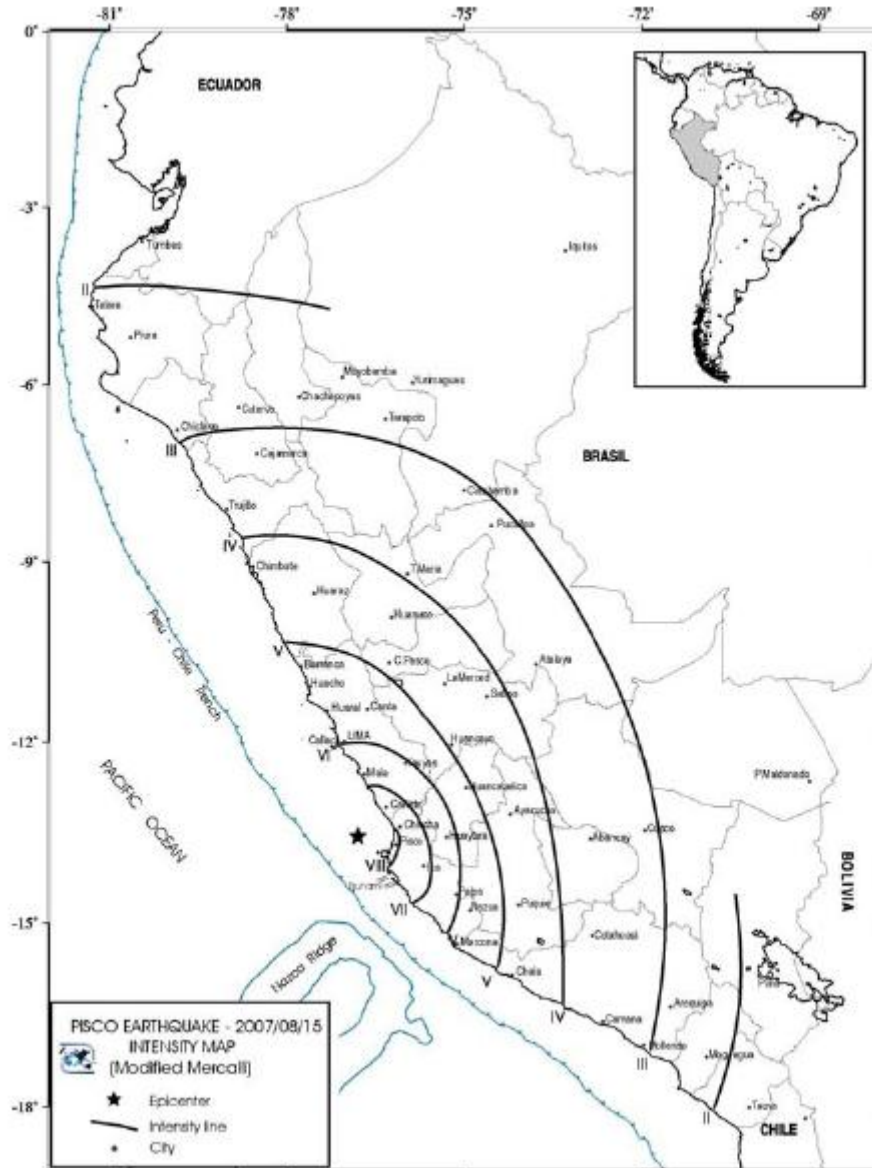


Figura.15 Mapa de intensidades producidas por el terremoto de Pisco. Fuente: INDECI, 2008.

Según cifras del Instituto Nacional de Defensa Civil (INDECI), el Terremoto de Pisco dejó cerca de 435, 000 personas damnificadas, casi 600 personas fallecidas, más 48 000 viviendas destruidas y muchos monumentos históricos sufrieron daños incalculables. Además, aproximadamente 1 200 aulas de clase sufrieron serios daños estructurales y más de 100 establecimientos de salud fueron muy afectados. A esto se sumó el bloqueo de la carretera Panamericana Sur debido a las grietas y desniveles ocasionados por el terremoto, lo que impidió que la ayuda llegue rápidamente. La gran mayoría de daños se produjeron en las viviendas de adobe, tanto antiguas como nuevas (Figura. 16) y en los monumentos

históricos como iglesias construidas con tierra En la ciudad de Pisco, casi el 80% de las viviendas de adobe fueron destruidas, debido principalmente a la falta de refuerzo sísmico. Otros factores influyentes en el colapso de las construcciones fueron el suelo blando bajo la cimentación, la baja calidad de los materiales y mano de obra, el poco espesor de los muros, la inadecuada configuración de los vanos, y la débil conexión entre muros y entre muros y techos. El proceso de colapso sísmico se inicia usualmente con la aparición de grietas verticales en los encuentros de muros (Figura. 17), que causa la desconexión de los muros, el desplome de la fachada debido al impacto de los muros perpendiculares, y por último la caída de los techos.



Figura. 16 y Figura 17. Desplome de muro en Ica 2007. Fuente: Tavera, 2008.

## **4.6 NORMA TÉCNICA ADOBE N.T.E E.080**

### **4.6.1 ALCANCES**

Esta norma sienta su base en el uso de la tierra como material de construcción, asumiendo el adobe y el tapial como las dos principales técnicas tradicionales en el Perú. La norma se refiere a las características mecánicas de los materiales para la construcción de edificaciones con tierra (tierra y sus refuerzos), al comportamiento de los muros de adobe y tapial, a los elementos estructurales fundamentales, así como al diseño sismorresistente para edificaciones de tierra, de acuerdo a la filosofía de diseño.

“La filosofía de diseño sismorresistente para edificaciones de tierra se expresa a través de metas verificables de desempeño estructural durante los terremotos”, (San Bartolomé, 2007). Las edificaciones de tierra deben ser reforzadas para conseguir el comportamiento siguiente:

- Durante sismos leves las edificaciones de tierra podrán admitir la formación de fisuras finas de los muros y otros elementos estructurales.

- Durante sismos moderados, se permitirá en las edificaciones con tierra fisuras más importantes, pero controladas por refuerzos, sin producir daño a los ocupantes. La estructura debe ser reparable con costos razonables.

- Durante la ocurrencia de sismos severos se admite la posibilidad de daños estructurales importantes, con fisuras y deformaciones permanentes, pero controladas por refuerzos. No deben ocurrir fallas frágiles ni colapsos parciales o totales, que puedan significar consecuencias fatales para la vida de los ocupantes. Las definiciones de sismo leve, sismo moderado y sismo severo corresponden a lo indicado en la norma “E.030 Diseño Sismorresistente” del Reglamento Nacional de edificaciones RNE.

La norma se orienta al diseño, construcción, reparación y reforzamiento de edificaciones de tierra, inspirada en el desarrollo de una cultura de previsión de desastres y en la búsqueda de soluciones económicas, seguras, durables, confortables y de fácil difusión. Las estructuras existentes incluyen las obras patrimoniales. Los proyectos elaborados con alcances distintos a los considerados en esta Norma, deberán estar respaldados con un estudio técnico, aprobado por la autoridad competente. La utilización de técnicas que han comprobado históricamente su comportamiento sismorresistente para edificaciones de uno o dos pisos, como por ejemplo la técnica compuesta de quincha, deberá estar sustentada con la firma del profesional responsable de su diseño. La norma no incluye técnicas mixtas que usan simultáneamente dos o más materiales que incluyen la tierra como material estructural. Tampoco contempla el uso de estabilizadores químicos o industriales en la mezcla del barro (como por ejemplo, suelo-cemento, yeso o silicato de etilo) (RNE, 2006).

#### **4.6.2 CONSIDERACIONES BÁSICAS**

Los proyectos arquitectónicos, eléctricos y sanitarios de edificaciones con tierra deberán concordarse con el proyecto estructural, cuyas características se señalan en la norma. El diseño estructural de las edificaciones de tierra debe estar basado en los siguientes criterios: resistencia, estabilidad y comportamiento sismorresistente (refuerzos compatibles) y será respaldado por el profesional responsable. Los métodos de análisis deben estar basados en comportamientos elásticos del material, sin perjuicio de que obras importantes utilicen criterios de comportamiento inelástico.

Las construcciones de adobe se limitarán a un solo piso en la zona sísmica 3 y a dos pisos en las zonas sísmicas 2 y 1 definidas en la NTE E.030 Diseño Sismorresistente. Por encima del primer piso de adobe, podrán tenerse estructuras livianas tales como las de quincha o similares. Las edificaciones de tierra deben cimentarse sobre suelos firmes y medianamente firmes de acuerdo con la Norma E.050 Suelos y cimentaciones. No se cimentarán sobre suelos granulares sueltos, cohesivos blandos, ni arcillas expansivas. Así mismo, se prohíbe la cimentación en suelos de arenas sueltas que pueden saturarse de agua (riesgo de licuefacción de suelos). Los métodos para obtener la aprobación de nuevas técnicas mixtas relacionadas con el material tierra, estarán basados en estudios que demuestren su adecuado



comportamiento sísmico, consistente con la filosofía de diseño (RNE, 2006). Los estudios deben asegurar un buen comportamiento en el estado de servicio y en el estado último, sin producir fallas frágiles o colapsos súbitos. Para la aprobación podrán utilizarse las siguientes alternativas:

- Verificación experimental de comportamiento sísmico mediante ensayos cíclicos, pseudo dinámicos o dinámicos que incluyan claramente el rango de comportamiento último.
- Diseño racional basado en principios de ingeniería aceptados, bajo responsabilidad del profesional.
- Historia de servicio y comportamiento adecuado en sismos severos.
- Las edificaciones no deben ubicarse en zonas propensas a inundaciones, cauces de ríos, avalanchas, aluviones o huaycos, en suelos con inestabilidad geológica o en cualquier otra área con riesgo de sufrir un desastre por fenómenos naturales o antrópicos.

En el artículo octavo, el de los Esfuerzos admisibles se afirma que en los ensayos se considerarán la variabilidad de los materiales a usarse. Para fines de diseño se considerará los siguientes esfuerzos mínimos:

- Resistencia a la compresión de la unidad:

$$f_o = 12 \text{ kg/cm}^2$$

- Resistencia a la compresión de la albañilería:

$$f_m = 0,2 f'_m \text{ o } 2 \text{ kg/cm}^2$$

- Resistencia a la compresión por aplastamiento:

$$1,25 f_m$$

- Resistencia al corte de la albañilería:

$$V_m = 0,25 \text{ kg/cm}^2$$

Figura. 18 Resistencia a la compresión del adobe. Fuente: NTE E.080

Aspectos Constructivos del Adobe:

- Verificar el tipo de edificación en el mapa de zonificación sísmica. Ica se halla en la Zona 3, en la cual se limita la construcción a solo un piso.

- No hacer construcciones de adobe en suelos granulares sueltos, en suelos cohesivos blandos, ni arcillas expansivas. No hacer construcciones de adobe en zonas propensas a inundaciones, avalanchas, aluviones o huaycos, ni en suelos con inestabilidad geológica.
- Las construcciones de adobe deberán cumplir con las siguientes características generales de configuración: suficiente longitud de muros en cada dirección, de ser posible todos portantes; la planta debe ser de preferencia simétrica, recomendando la forma cuadrada.
- La gradación del suelo debe aproximarse a los siguientes porcentajes: arcilla 10-20%, limo 15-25% y arena 55-70%, no debiéndose utilizar suelos orgánicos.
- Los adobes podrán ser de planta cuadrada. Las dimensiones deberán ajustarse a las siguientes proporciones: Para adobes rectangulares, el largo debe ser aproximadamente el doble del ancho. La relación entre el largo y la altura debe ser de 4 a 1. La magnitud ideal es de 40cm x 40cm x 8cm.
- Preparar el barro y dormirlo por 2 días (en promedio). Agregar la paja para que los adobes no se rajen. Llenar la adobera lanzando con fuerza porciones de barro. La adobera debe estar húmeda y rociada de arena fina para que no se peguen los adobes. Dejar secar el adobe en las adoberas por un promedio de 24 a 48 horas. Los adobes se rajan con el sol, por eso se debe hacer un tendal de esteras o ramas para protegerlos por lo menos durante los dos primeros días.
- Limpiar el terreno de piedras, materiales orgánicos y basura. Nivelar el terreno, haciendo uso de una manguera transparente de 3/8" para determinar las zonas de relleno y corte. En las zonas de relleno se debe compactar el suelo por capas de 15 cms.
- La zanja debe tener como mínimo 60 cm. de profundidad y 50 cm. de ancho. Se llena el cimientó hasta una altura de 50 cm., con piedra grande y una mezcla de cemento y hormigón: una parte de cemento y diez partes de hormigón. El sobrecimiento deberá ser de concreto ciclópeo o albañilería de piedra asentada con mortero Tipo I, y tendrá una altura tal que sobresalga como mínimo 20 cm sobre el nivel del suelo.
- Se debe verificar la mezcla más adecuada de tierra y paja para fabricar el mortero de la unión. Al preparar el mortero, añadir a la mezcla de barro la mayor cantidad de paja posible, que permita una adecuada trabajabilidad.
- Se recomienda que el muro tenga como mínimo 40 cms. de espesor. La longitud máxima del muro entre arriostre verticales será 12 veces el espesor del muro. Se recomienda una altura de muro entre 2.40 a 3m. Las unidades de adobe deberán estar secas antes de su utilización y se dispondrá en hiladas sucesivas considerando traslape.
- Para el momento del asentado los adobes se deben humedecer. Deben disponerse a plomo y cordel y la mezcla (mortero) debe tener un espesor de 2.5 cms aproximadamente. Se recomienda que haya un vano por cada muro arriostrado. En general los vanos deberán estar preferentemente centrados. El borde vertical no

arriostrado de puertas y ventanas deberá ser considerado como borde libre. Muchos vanos en un solo muro pueden debilitar la edificación.

- Los arriostres verticales serán muros transversales o contrafuertes especialmente diseñados. Tendrán una adecuada resistencia y estabilidad para transmitir fuerzas cortantes a la cimentación. Los arriostres horizontales son elementos o conjunto de elementos que poseen una rigidez suficiente en el plano horizontal para impedir el libre desplazamiento lateral de los muros. Los elementos de arriostre horizontal más comunes son los denominados viga collar o solera. Estas pueden ser de madera o en casos especiales de concreto madera.
- Los techos deberán ser diseñados de tal manera que no produzcan en los muros, empujes laterales que provengan de las cargas gravitacionales. En general, los techos livianos no contribuyen a la distribución de fuerzas horizontales entre los muros.

#### **4.7 NORMA E.030: DISEÑO SISMORRESISTENTE**

El artículo primero de este reglamento refiere: “Esta Norma establece las condiciones mínimas para que las edificaciones diseñadas según sus requerimientos tengan un comportamiento sísmico acorde con los principios señalados en el Artículo 3. Se aplica al diseño de todas las edificaciones nuevas, a la evaluación y reforzamiento de las existentes y a la reparación de las que resultasen dañadas por la acción de los sismos. Para el caso de estructuras especiales tales como reservorios, tanques, silos, puentes, torres de transmisión, muelles, estructuras hidráulicas, plantas nucleares y todas aquellas cuyo comportamiento difiera del de las edificaciones, se requieren consideraciones adicionales que complementen las exigencias aplicables de la presente Norma. Además de lo indicado en esta Norma, se deberá tomar medidas de prevención contra los desastres que puedan producirse como consecuencia del movimiento sísmico: fuego, fuga de materiales peligrosos, deslizamiento masivo de tierras u otros”, (RNE, 2016).

#### **4.8 ANÁLISIS ELEMENTOS FINITOS**

Es una herramienta clave en la consecución y resolución de esta tesis. Como fundamento de la hipótesis y como medio para el resultado final en su planteamiento. Una definición exacta que recoge mucho de lo que en la actualidad se conoce dice: “El método de los elementos finitos (MEF) ha adquirido una gran importancia en la solución de problemas ingenieriles, físicos, etc., ya que permite resolver casos que hasta hace poco tiempo eran prácticamente imposibles de resolver por métodos matemáticos tradicionales” (Carnicero, 2015). Esta circunstancia obligaba a realizar prototipos, ensayarlos e ir realizando mejoras de forma iterativa, lo que traía consigo un elevado coste tanto económico como en tiempo

de desarrollo. El MEF permite realizar un modelo matemático de cálculo del sistema real, más fácil y económico de modificar que un prototipo. Sin embargo no deja de ser un método aproximado de cálculo debido a las hipótesis básicas del método. Los prototipos, por lo tanto, siguen siendo necesarios, pero en menor número, ya que el primero puede acercarse bastante más al diseño óptimo.

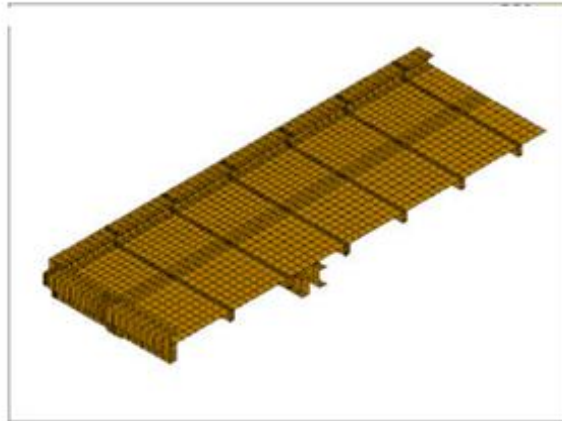


Figura. 19 División en elementos finitos. Fuente: Carnicero, 2015.

Conceptos Generales del Método: La idea general del método de los elementos finitos es la división de un continuo en un conjunto de pequeños elementos interconectados por una serie de puntos llamados nodos. Las ecuaciones que rigen el comportamiento del continuo regirán también el del elemento. De esta forma se consigue pasar de un sistema continuo (infinitos grados de libertad), que es regido por una ecuación diferencial o un sistema de ecuaciones diferenciales, a un sistema con un número de grados de libertad finito cuyo comportamiento se modela por un sistema de ecuaciones, lineales o no. En cualquier sistema a analizar podemos distinguir entre:

- Dominio. Espacio geométrico donde se va a analizar el sistema.
- Condiciones de contorno. Variables conocidas y que condicionan el cambio del sistema: cargas, desplazamientos, temperaturas, voltaje, focos de calor, etc.
- Incógnitas. Variables del sistema que deseamos conocer después de que las condiciones de contorno han actuado sobre el sistema: desplazamientos, tensiones, temperaturas, etc.

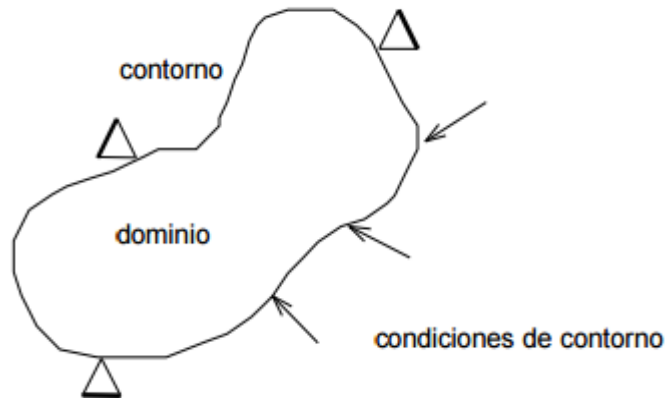


Figura. 20 Teoría de elementos finitos. Fuente: Elaboración propia.

El profesor Carnicero el año 2015 sintetizó la idea expresando que el método de los elementos finitos supone, para solucionar el problema, el dominio discretizado en subdominios denominados elementos. El dominio se divide mediante puntos (en el caso lineal), mediante líneas (en el caso bidimensional) o superficies (en el tridimensional) imaginarias, de forma que el dominio total en estudio se aproxime mediante el conjunto de porciones (elementos) en que se subdivide. Los elementos –en el método de los elementos finitos- se definen por un número discreto de puntos, llamados nodos, que conectan entre sí los elementos. Sobre estos nodos se materializan las incógnitas fundamentales del problema. En el caso de elementos estructurales estas incógnitas son los desplazamientos nodales, ya que a partir de éstos podemos calcular el resto de incógnitas que nos interesen: tensiones, deformaciones, etc. A estas incógnitas se les denomina grados de libertad de cada nodo del modelo. Los grados de libertad de un nodo son las variables que nos determinan el estado y/o posición del nodo. Antes de comenzar a resolver un problema mediante cualquier programa de Elementos Finitos conviene reflexionar sobre una serie de puntos. ¿Qué se pretende con el análisis? Determinar tensiones, obtener distribuciones de temperatura, ver cómo evoluciona el sistema, calcular frecuencias y modos propios, etc. Esta pregunta nos determinará el tipo de análisis a realizar. ¿Cómo va a ser la geometría que vamos a analizar? Seguramente conocemos la geometría real del problema, pero a la hora de realizar su análisis deberemos simplificarla al máximo en función del objetivo del análisis. Para ello deberemos buscar posibles simetrías, antisimetrías del problema, problemas de tensión o deformación planas, eliminación de detalles superfluos. Una vez estudiada la geometría podremos decidir el o los tipos de elementos a utilizar, las características de los mismos, así como las propiedades de él o los materiales (módulo de elasticidad, conductividad,...) a emplear. ¿Qué condiciones de contorno imponemos sobre el sistema a estudiar? También serán conocidas, pero deberemos estudiar si son o no importantes o influyentes en el tipo de análisis que vamos a realizar (puede darse el caso, por ejemplo, de que nuestro sistema esté sometido a un cambio brusco de temperatura, pero que deseemos realizar un análisis modal para conocer sus frecuencias naturales, en cuyo caso el resultado es independiente de esta condición). Una vez decididas las condiciones de

contorno hemos de estudiar la forma de aplicarlas, si representan las condiciones reales del problema, si existe equilibrio (en el caso de que sea un análisis estático). “La imposición de condiciones de contorno apropiadas es una de las decisiones más complejas a la hora de realizar un análisis por elementos finitos. ¿Qué resultados esperamos obtener? Para poder saber si hemos realizado correctamente el análisis o si representa bien la realidad, deberemos tener una idea de cómo va a responder. Por ejemplo, si estamos analizando una tubería sometida a presión interior y los resultados nos indican que disminuye el radio deberemos pensar que hemos modelado mal el sistema, bien en la aplicación de las cargas, en el mallado, etc.” (Carnicero, 2015). En el caso que nos compete de las fibras naturales, los elementos asignados en cada subdivisión de 10cm x 10 cm, obedecen a las fuerzas actuantes en dicha porción del muro en el plano: los esfuerzos cortantes y los de tracción.

#### **4.9 FIBRAS DE HENEQUÉN**

El henequén produce fibras de hebras gruesas, ásperas, resistentes, gomosas y de color blanco. “Las fibras de henequén se componen de hebras de 60-160 cm de largo por 1/8 a 1/2 mm de diámetro, angulares o casi cilíndricas y más gruesas en la base. Cada hebra consiste en un haz fibro-vascular que a su vez están compuestos de infinidad de células largas de tabiques gruesos, presentan una longitud de 2-5 mm y de 10-30 micrones de diámetro. Cuando la hoja toma posición horizontal en lugar de la perpendicular que tenía es porque la firmeza de su fibra llega al máximo. Dicha firmeza se explica por la estructura de las hebras en la hoja”; según expone Zilinsky (1964).

Producción de hilos: Los factores relacionados con la producción del henequén son varios, entre ellos debemos tener en cuenta:

- La variedad de la planta.
- Cantidad de plantas que crecen en una extensión dada.
- Número de hojas que se obtienen anualmente en cada planta.
- Tamaño y calidad de las hojas.

Extracción de la fibra: La extracción de la fibra es la última fase del proceso tecnológico del henequén, esta extracción la realizaban ya los antiguos pobladores de México de una manera rústica y manual. Con el devenir de los años se han diseñado diferentes máquinas, como son la del fraile Cerón a principios de siglo XIX, la rueda Solís en 1851 y un modelo bastante avanzado en 1852. En la actualidad, la extracción se realiza por métodos mecánicos, pero aún hoy, en muchos países utilizan métodos rudimentarios de extracción de las fibras de esta planta. “Las hojas cosechadas deben ser procesadas antes de las 24 horas de haber sido recogidas, para que la fibra se pueda limpiar de la manera debida”. (Kirby, 1963) Éste autor planteaba que el descortezamiento se realizaba antiguamente machacando las hojas entre 2 piedras y eliminando la pulpa de la hoja, después las hojas

eran descortezadas a mano entre un cuchillo y un bloque. En la actualidad las desfibradoras son automáticas y constan de 2 tamboras con cuchillas que el golpear la hoja con gran velocidad separa la fibra. La fibra de henequén es separada de la hoja mediante máquinas que extraen la pulpa y al mismo tiempo lavan la fibra en agua, después esta fibra se expone al calor (sol) de 1-3 días para secarla y blanquearla.

**Lavado de la fibra:** Una descortezadora de henequén necesita de un copioso suministro de agua, esto tiene un doble propósito: lavar la fibra y llevar afuera los desperdicios y la pulpa de las hojas. El agua consumida no se malgasta ya que sirve para diluir los ácidos del jugo y llevar la pulpa de las hojas al canal de desagüe. La efectividad del agua como un agente de lavado puede ser incrementada, si la presión del agua es elevada por medio de una bomba de impulsión. **Secado de la fibra:** Después del desfibrado la fibra se somete al secado, este puede hacerse por medio natural (sol) o artificial (secado mecánico). En la actualidad existen 2 métodos para el secado de la fibra de henequén, el secado en tendales, utilizando la energía solar y el secado a vapor. De estos métodos el más utilizado hasta el momento es el secado en tendales.

**Características de la fibra:** El fruto agrícola del henequén lo constituye la fibra proveniente de sus hojas. 'La fibra textil se define como el conjunto de materias que convertidas en hilos se utilizan en la fabricación de tejidos' (Ortega, 1977). La fibra, propiamente dicha, la definen Greulach y Adams (1976) como células pertenecientes al tejido esclerenquimático y son mucho más largas que anchas, con sus extremos adelgazados sin participación en el metabolismo de las plantas. El henequén se incluye dentro del grupo de las fibras duras (aquellas que presentan células de paredes engrosadas y lignificadas) según Esau (1972). Dichas fibras se obtienen de tallos o de hojas de tallos de plantas monocotiledóneas. El mismo autor define las fibras duras como fibras perivasculares, localizadas sobre la superficie del cilindro vascular, no originadas por el floema, y aclara que esos haces vasculares y cordones de fibra tienen comúnmente un curso largo y recto con anastomosis cruzadas bastante débiles.

**Principales propiedades de las fibras vegetales:** Weilding (1974) enumera tres propiedades físicas esenciales que se deben considerar en las fibras: 1) Fuerza de tensión. 2) Cohesión. 3) Flexibilidad. De estas tres propiedades se considera como la más importante la fuerza de tensión, no solo en lo que se refiere a su propia resistencia, sino como índice de resistencia para la elaboración de tejidos. La cohesión es la capacidad de las fibras individuales para mantenerse juntas cuando son transformadas en hilo; en esta propiedad influye principalmente la condición que presenten las superficies de las células de las fibras. Una superficie irregular, al producir una resistencia a la fricción, ayuda a las fibras a mantenerse unidas. La flexibilidad es la cualidad que tienen los filamentos de arrollarse unos sobre otros durante la operación de hilado.

**Usos y subproductos:** El principal producto extraído de las hojas del henequén, y el de mayor utilidad en la industria textil, son sus fibras las cuales son utilizadas en la fabricación de sogas, jarcias, cordeles y otros productos, aunque algunos autores consideran que la

calidad de su fibra es inferior a la del sisal. Zayas (1921) planteó que la fibra de henequén se utilice en la confección de alfombras, aparejos de tiro para carretas, para la confección de forros de cables, excelentes por su flexibilidad y duración, así como por su resistencia al calor y a los insectos, además, se fabriquen hamacas y sombreros, cestos y sacos de todas clases. La fibra del henequén también se utiliza para hacer hilos agrícolas ("baler twine") para empacar y para engavillar el "bander twine"; hilos comerciales de uno o más cabos, como es el tipo banco o sin aceite, y el aceitado para jarcias y sacos. Otros usos de la fibra de henequén son los siguientes: Para reforzar las placas de yeso, lo cual las hace más fuertes y resistentes, además, proporcionan excelentes resultados en las correcciones sonoras de las habitaciones destinadas a la música (FAO, 1970). Mezcla con fibra de vidrio para paneles de relleno utilizable a escala mundial para la confección de viviendas de urgencia en caso de catástrofes naturales (FAO, 1974). Para recubrimiento de pisos, objetos de artesanía, cordeles de usos especiales recubiertos de plásticos y sacos para envasar todo tipo de producto (CUBA.INRA. Dirección Nacional de Fibras, 1975). Para la elaboración de hilos comerciales como el plygood, cables costales, telas para enfardelar, hamacas, bolsas, etc.

## **V. MATERIALES Y MÉTODOS**

### **5.1 BASE CONCEPTUAL PARA EL DISEÑO SÍSMICO DE MUROS DE ADOBE REFORZADOS CON MALLAS DE HENEQUÉN.**

En esta sección se exponen los conceptos necesarios para realizar el diseño de muros de adobe reforzados con malla natural y sometida a acciones principalmente de fuerzas sísmicas.

Las hipótesis que se deben cumplir para este objetivo son las siguientes:

1. Los muros están completamente reforzados con mallas por ambas caras.
2. Las mallas de ambas caras están conectadas entre sí y a través del muro cada 30cm aproximadamente horizontal y verticalmente. Como se indicó anteriormente, las fibras o hilos de la planta Henequén van entretejidos de forma convencional como una tela. Estas uniones regulares- rectangulares forman una red trenzada que tomará la forma de malla. El grosor del hilo o de la fibra natural es de 1/2mm de diámetro; y la separación entre ellas -en 1 cm de referencia considerado-, será presentado en los resultados de este estudio.
3. Los muros se tarrajejan con barro y paja embebiéndolos a las mallas. Se debe comprobar la mezcla más idónea de tierra y paja para fabricar el mortero de la unión. Se unirá adobes



con diferentes mezclas de tierra y paja, con un espesor de 2 cm. Pasado 48 horas se separará con cuidado los adobes para ver cual tiene mayor adherencia y escoger la mezcla más conveniente. Descartar la muestra con la mayor cantidad de grietas y fisuras. En lo posible agregar la mayor cantidad de paja para una mejor trabajabilidad, además porque estas son las más aptas por su mayor poder de adherencia. También considerar una buena dosis de arena gruesa. Todos los ensayos se realizan en situ –en campo-, por tanto no llevan ningún otro aditivo especial. Para un mejor acabado y protección de agentes externos (frío, humedad, insectos, etc.) que afecten la salud de las personas, se pueden revestir los muros externos con barro o mortero de cemento, a solicitud estándar generalmente en proporción tierra: cemento de 5 a 1. Sin embargo el mortero de barro usado para unir los adobes puede ser utilizado aquí igualmente, desde luego que la arena será más fina que la anterior, sin embargo se pondrá más cantidad de paja. Interiormente el revestimiento puede ser hecho a base de yeso, barro o cemento. Para resanar rajaduras finas en el tarrajeo se mezcla 1 lata de tierra, con una lata de arena fina y ½ lata de agua.

4. Los muros así reforzados son lo suficientemente esbeltos para generar un comportamiento predominantemente de flexión para fuerzas transversales al plano, lo cual se estima que se consigue para una esbeltez mayor a 4.

5. Los esfuerzos de compresión por el efecto combinado de la carga vertical y el momento flector coplanar no son relevantes debido a la poca altura de las edificaciones de adobe en áreas sísmicas.

Para que una construcción de adobe cumpla con estas hipótesis y le den la categoría de sismorresistente, los muros -que son los elementos estructurales- deben resistir los esfuerzos de corte en el plano del muro y los efectos de flexión perpendicular al plano del muro que generan las fuerzas sísmicas. Estas condiciones son independientes de si la construcción posea o no un diafragma rígido horizontal o sea éste un techo sólido.

#### Criterio de diseño por corte coplanar:

En base a la Norma E.080 se puede afirmar que existe un valor máximo del esfuerzo cortante que puede soportar un muro de adobe que corresponde al valor de 0.25 kg/cm<sup>2</sup>, el mismo que está asociado a una distorsión angular de 2.5%. Entre el esfuerzo cortante máximo de la etapa elástica y el valor ultimo del esfuerzo cortante se produce un incremento no lineal de la resistencia la cual se debe a que la malla de refuerzo -embebida en el mortero del enlucido- aporta una resistencia adicional, al tiempo que se van generando un patrón de grietas uniformemente distribuido en todo el muro.

### Criterio de diseño por flexión:

Las siguientes conclusiones se basan en las observaciones y los resultados experimentales de los ensayos de flexión en secciones de muros de adobe reforzados con geomallas, realizados por Torrealva el 2009 en la Universidad Católica. Y que sirven como sustento metodológico –también como es lógico- en el caso de las mallas tejidas con fibras naturales: poseen la misma naturaleza en su mecánica. Estos puntos versan así:

- La resistencia a flexión de la sección está gobernada por la resistencia última a tracción del refuerzo.
- Las grietas de tracción por flexión del muro se originan y propagan a través de las juntas entre el mortero y la unidad de adobe.
- La falla por compresión de los adobes no es influyente debido al confinamiento producido por la malla.

## **5.2 ANÁLISIS SÍSMICO DE LAS EDIFICACIONES DE ADOBE.**

“El análisis de esfuerzos en general para las construcciones de adobe ha tenido los problemas de su casi nula resistencia a tracción con el consiguiente impedimento para aplicar métodos elásticos de análisis, y la incertidumbre sobre si es válido o no realizar un análisis sísmico considerando diafragma rígido”, (Torrealva, 2009). A continuación se analiza la pertinencia de este material para asumir algunas hipótesis comunes en el análisis sísmico de edificaciones.

En el análisis sísmico de edificaciones en general, el tipo de análisis depende principalmente, de la distribución de masas en la construcción, así, pueden considerarse dos tipos de análisis: el de masa concentrada en los pisos, y el de masa distribuida. Para el caso de edificaciones de adobe el tipo apropiado es el de masa distribuida debido a que las paredes de adobe contribuyen con un porcentaje importante de la masa total que puede llegar hasta el 90% en el caso de construcciones de un piso con techo liviano como es el caso de las construcciones en la costa peruana y la cual es materia de este trabajo.

Otra consideración que hay que tomar en cuenta para el análisis es determinar si se debe realizar un análisis considerando diafragma de techo rígido o flexible. Generalmente los techos en las construcciones de tierra son de madera y se considera que un techo de este tipo no puede asegurar un comportamiento de diafragma rígido, olvidando que el concepto de diafragma rígido varía según la composición de la estructura valiéndose de la rigidez de los elementos verticales en este caso los muros de adobe propuestos.

La pregunta que se trata de responder en este punto es: ¿Es posible representar el comportamiento real de las edificaciones de adobe mediante programas de elementos finitos? Para ello hay que tener en cuenta que en construcciones de adobe sin reforzar la resistencia a esfuerzos de tracción es prácticamente nula, lo que le hace imposible utilizar programas que consideren un comportamiento elástico de las edificaciones (Torrealva, 2009). Sin embargo las edificaciones de adobe reforzadas con fibras naturales se comportan como material compuesto soportando compresiones y tracciones en niveles relativos, verificando un comportamiento elástico aunque no lineal.

En resumen, en el caso de construcciones de adobe reforzadas con mallas naturales se pueden tomar las siguientes consideraciones para el *Análisis Sísmico*:

- Considerar un modelo de masas distribuidas.
- Considerar diafragma elástico en los entrepisos y techos.
- Realizar de preferencia un análisis de elementos finitos.
- Aplicar la norma N.T.E E.030 para el cálculo del cortante basal o la fuerza sísmica incidente.

### **5.3 PROCEDIMIENTO PROPUESTO DE VIVIENDA PARA SER ANALIZADA.**

1. Descripción del modelo: El modelo consta de un prototipo de vivienda rural de un piso. El área considerada fue de 120 m<sup>2</sup> (10x12) tal como se precisa en la figura. 21. Los ambientes se dividieron en una sala- comedor, tres dormitorios, una cocina, un patio, una lavandería y dos baños. La altura del muro fue de tres metros.

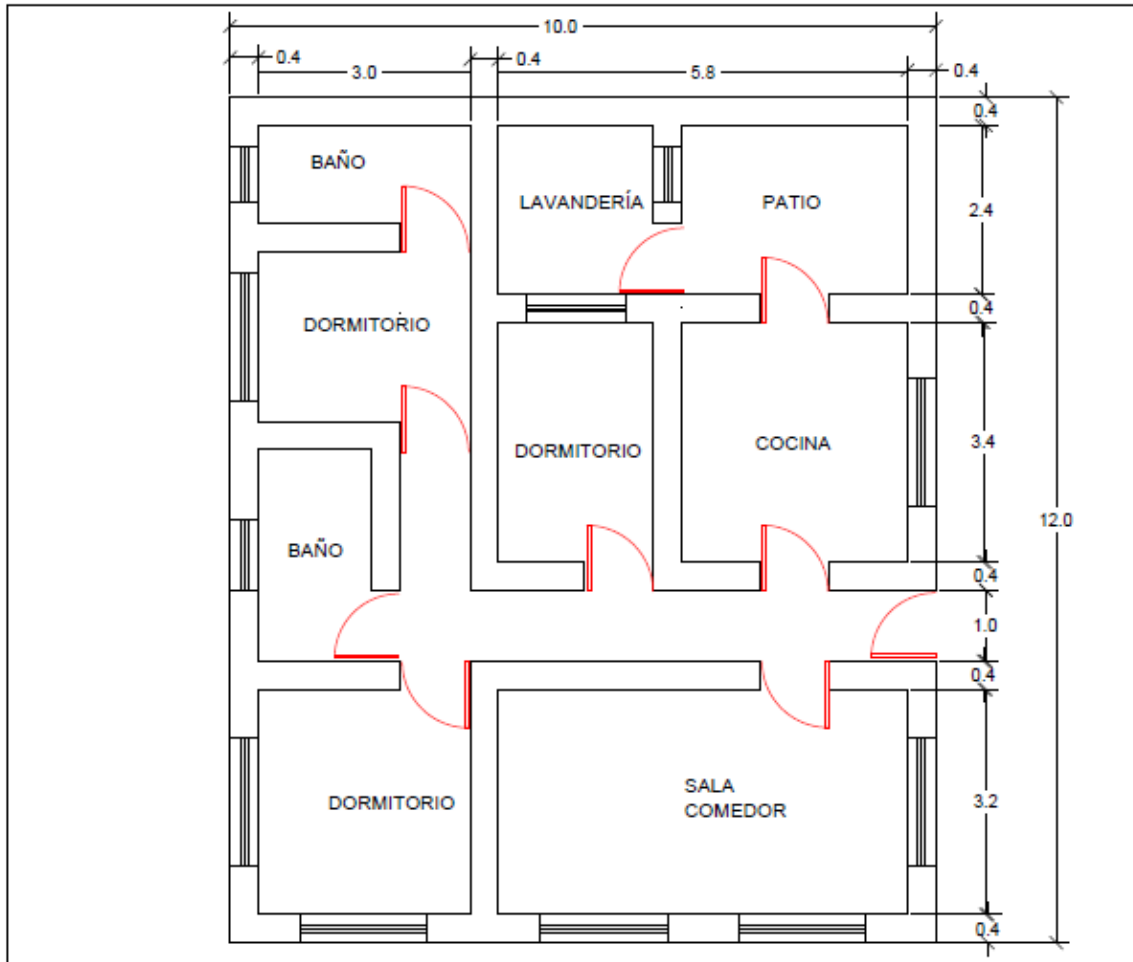


Figura. 21 Plano en planta de prototipo de vivienda. Fuente: Elaboración Propia.

2. Datos procesados en el SAP 2000 (estructuras).

- Material: Adobe.
- Peso específico= 1600 Kg/m<sup>3</sup>.
- Módulo de Elasticidad= 6500 Kg/cm<sup>2</sup>.
- Coeficiente de Poisson= 0.25
- Esfuerzo de compresión (adobe)= 2 kg/cm<sup>2</sup>.

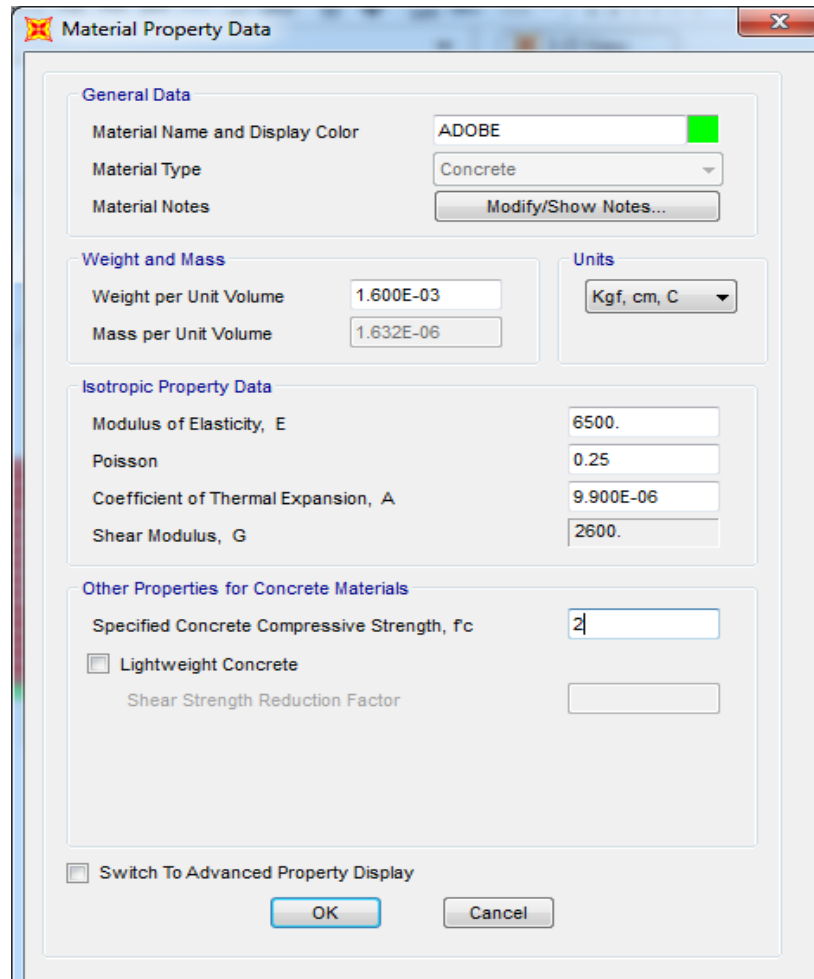


Figura. 22 Definiendo el material en SAP. Fuente: Elaboración propia.

### 3. Diseño Sismorresistente (NTE E.030).

- Análisis Estático
- Fuerza horizontal sísmica V: Cortante basal o porcentaje del peso total.

$$V = \frac{ZUCS}{R} \cdot P$$

Donde:

Z= Zonificación.

U= Coeficiente de edificaciones.

R= Coeficiente de Reducción.

C= Factor de amplificación sísmica.

S= Parámetros del Suelo.

P= Peso de la estructura (edificación).

- Zonificación: Región Ica (franja costera).



Figura. 23 Zonificación sísmica. Fuente: NTE E.030.

FACTORES DE ZONA	
ZONA	7
3	0,4
2	0,3
1	0,15

Tabla. 5 Factores de Zona. Fuente: NTE E.030.

- Condiciones Locales: Suelos Intermedios en Ica.

Tipo	Descripción	$T_p$ (s)	S
S <sub>1</sub>	Roca o suelos muy rígidos	0,4	1,0
S <sub>2</sub>	Suelos intermedios	0,6	1,2
S <sub>3</sub>	Suelos flexibles o con estratos de gran espesor	0,9	1,4
S <sub>4</sub>	Condiciones excepcionales	*	*

Tabla. 6 Parámetros del suelo. Fuente: NTE E.030.

S= 1.2

T<sub>p</sub> (periodo de vibración del suelo) = 0.6

- FACTOR DE AMPLIFICACIÓN SÍSMICA:

$$C = 2,5 \cdot \left( \frac{T_p}{T} \right); C \leq 2,5$$

Período Fundamental:

$$T = \frac{h_n}{C_T}$$

Donde:

$C_T = 35$  para edificios cuyos elementos resistentes en la dirección considerada sean únicamente pórticos.

$C_T = 45$  para edificios de concreto armado cuyos elementos sismorresistentes sean pórticos y las cajas de ascensores y escaleras.

$C_T = 60$  para estructuras de mampostería y para todos los edificios de concreto armado cuyos elementos sismorresistentes sean fundamentalmente muros de corte.

Figura. 24 Factor de amplificación sísmica. Fuente: NTE E.030.

Donde  $H_n$  es la altura de 3 m. Por tanto  $T = 3/60 = 0.05$

$C = 30$  y  $C$  es menor a 2.5

$C = 2.5$

- Sistemas Estructurales.

<b>SISTEMAS ESTRUCTURALES</b>	
<b>Sistema Estructural</b>	<b>Coefficiente de Reducción, R Para estructuras regulares (*) (**)</b>
<b>Acero</b>	
Pórticos dúctiles con uniones resistentes a momentos.	9,5
Otras estructuras de acero:	6,5
Arriostres Excéntricos.	6,0
Arriostres en Cruz.	6,0
<b>Concreto Armado</b>	
Pórticos <sup>(1)</sup> .	8
Dual <sup>(2)</sup> .	7
De muros estructurales <sup>(3)</sup> .	6
Muros de ductilidad limitada <sup>(4)</sup> .	4
Albañilería Armada o Confinada <sup>(5)</sup> .	3
Madera (Por esfuerzos admisibles)	7

Tabla 7. Sistemas Estructurales. Fuente: NTE E.030.

Por lo tanto de la tabla.  $R=3$ .



- Categoría de las Edificaciones.

C Edificaciones Comunes	Edificaciones comunes, cuya falla ocasionaría pérdidas de cuantía intermedia como viviendas, oficinas, hoteles, restaurantes, depósitos e instalaciones industriales cuya falla no acarree peligros adicionales de incendios, fugas de contaminantes, etc.	1,0
-------------------------------	--	-----

Tabla. 8 Categoría de las edificaciones. Fuente: NTE E.030.

Por lo tanto de la tabla.  $C=1$ .

<b>Z</b>	<b>0.4</b>
<b>S</b>	<b>1.2</b>
<b>C</b>	<b>2.5</b>
<b>U</b>	<b>1</b>
<b>R</b>	<b>3</b>
<b>V</b>	<b>0.4 X P</b>

Tabla. 9 Cortante basal. Fuente: Elaboración propia.

- Luego la Fuerza cortante basal representa el 0.40 del peso de la estructura. Siendo éste un valor aceptable. Tal número se ingresa al cuadro siguiente, en ambas direcciones globales: X e Y.

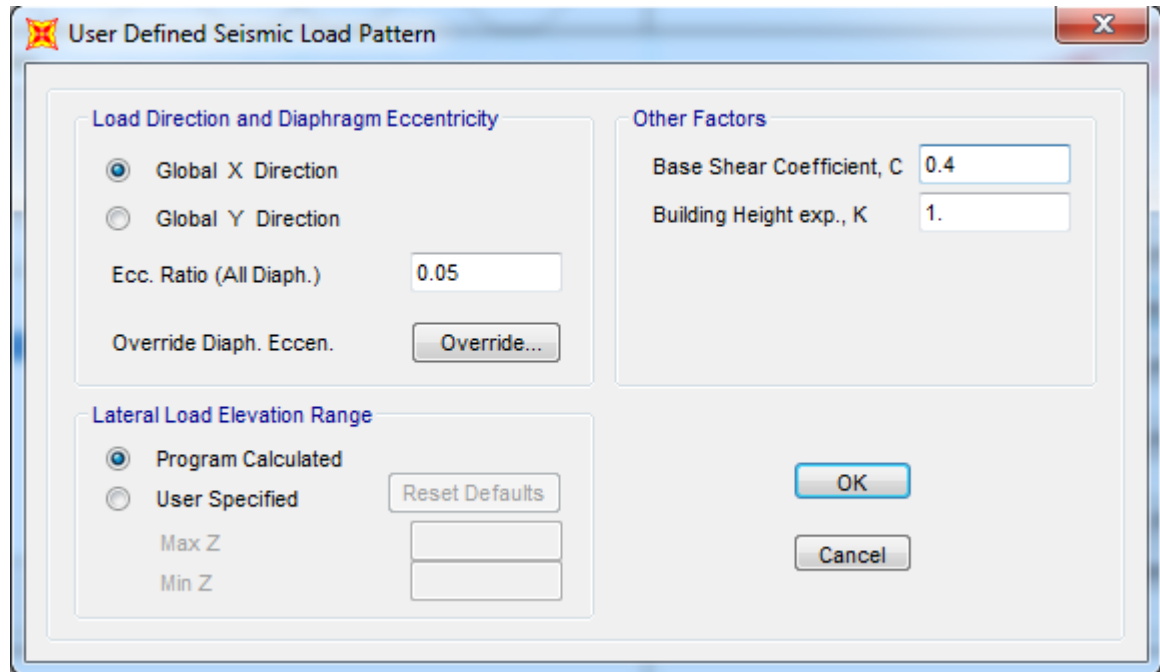


Figura. 25 Cargas sísmicas. Fuente: Elaboración propia SAP.

4. Según la norma de cargas E.020, se establece el valor de 150 Kg/m<sup>2</sup> para la carga muerta, y 50 Kg/m<sup>2</sup> para la carga viva, considerando la edificación rural de una planta en adobe. Según los cuadros:

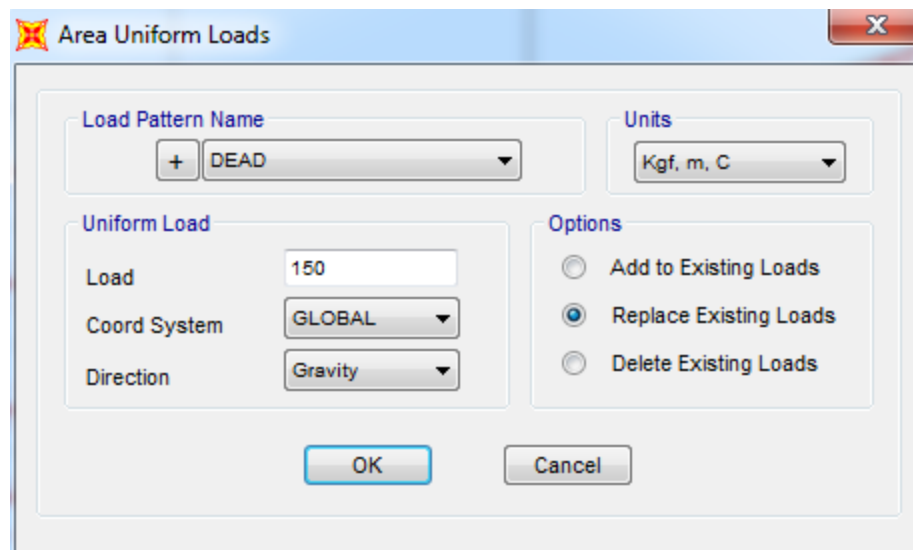


Figura. 26 Carga Muerta. Fuente: Elaboración propia SAP.

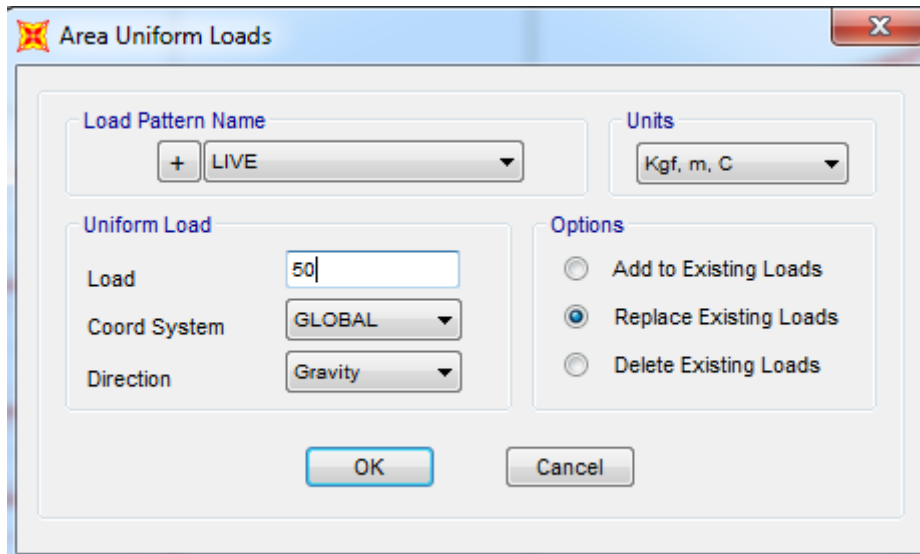


Figura. 27 Carga Viva. Fuente: Elaboración propia SAP.

5. Modelamiento en SAP.



Figura. 28 Vista en planta de vivienda. Fuente: Elaboración propia SAP.

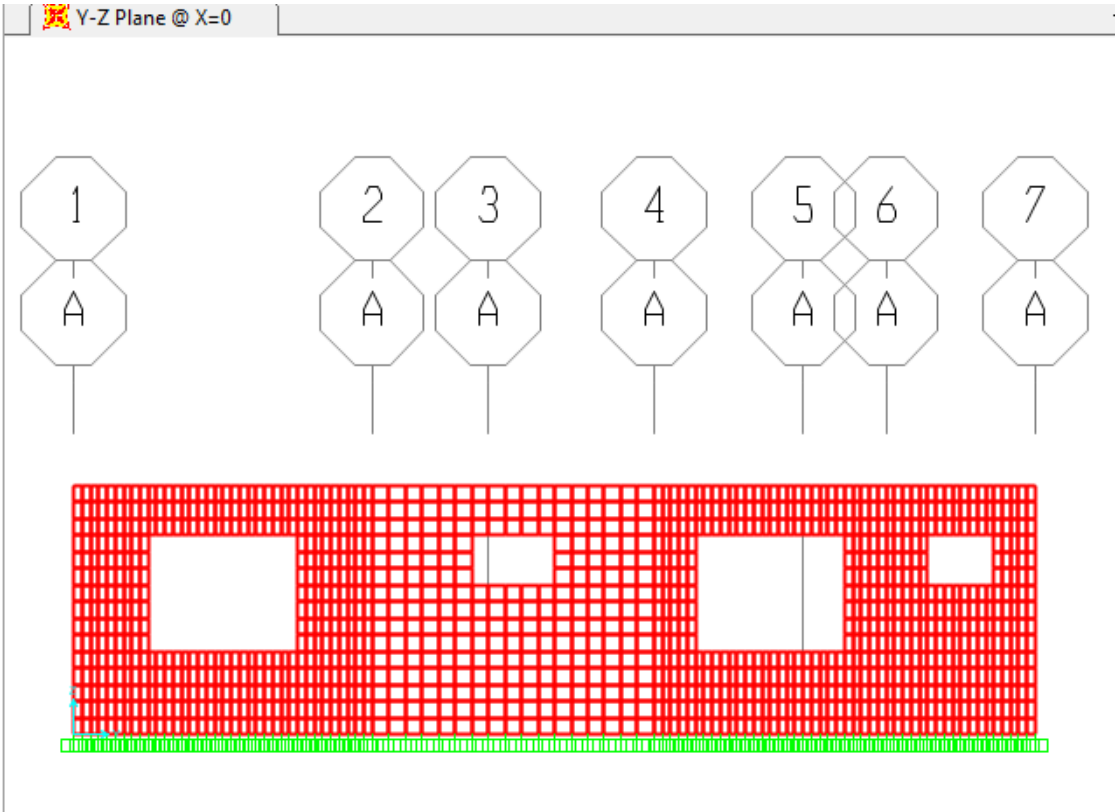


Figura.29 Elevación del prototipo de vivienda con malla natural. Fuente: Elaboración propia SAP.

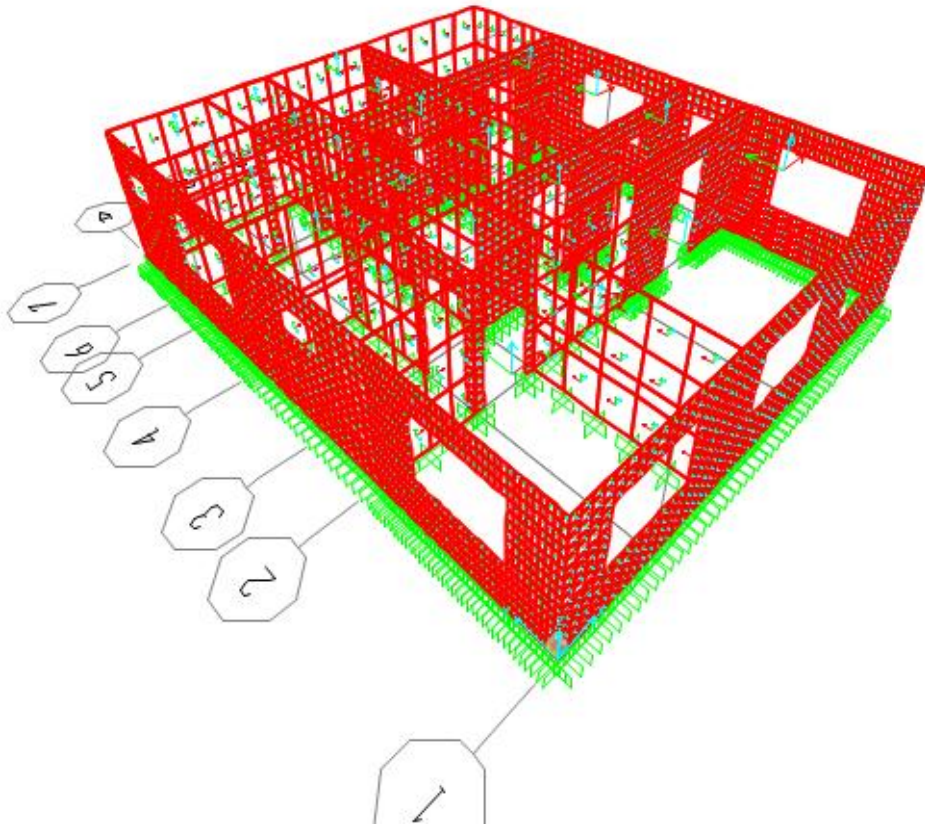


Figura. 30 Vista en 3D vivienda. Fuente: Elaboración propia SAP.

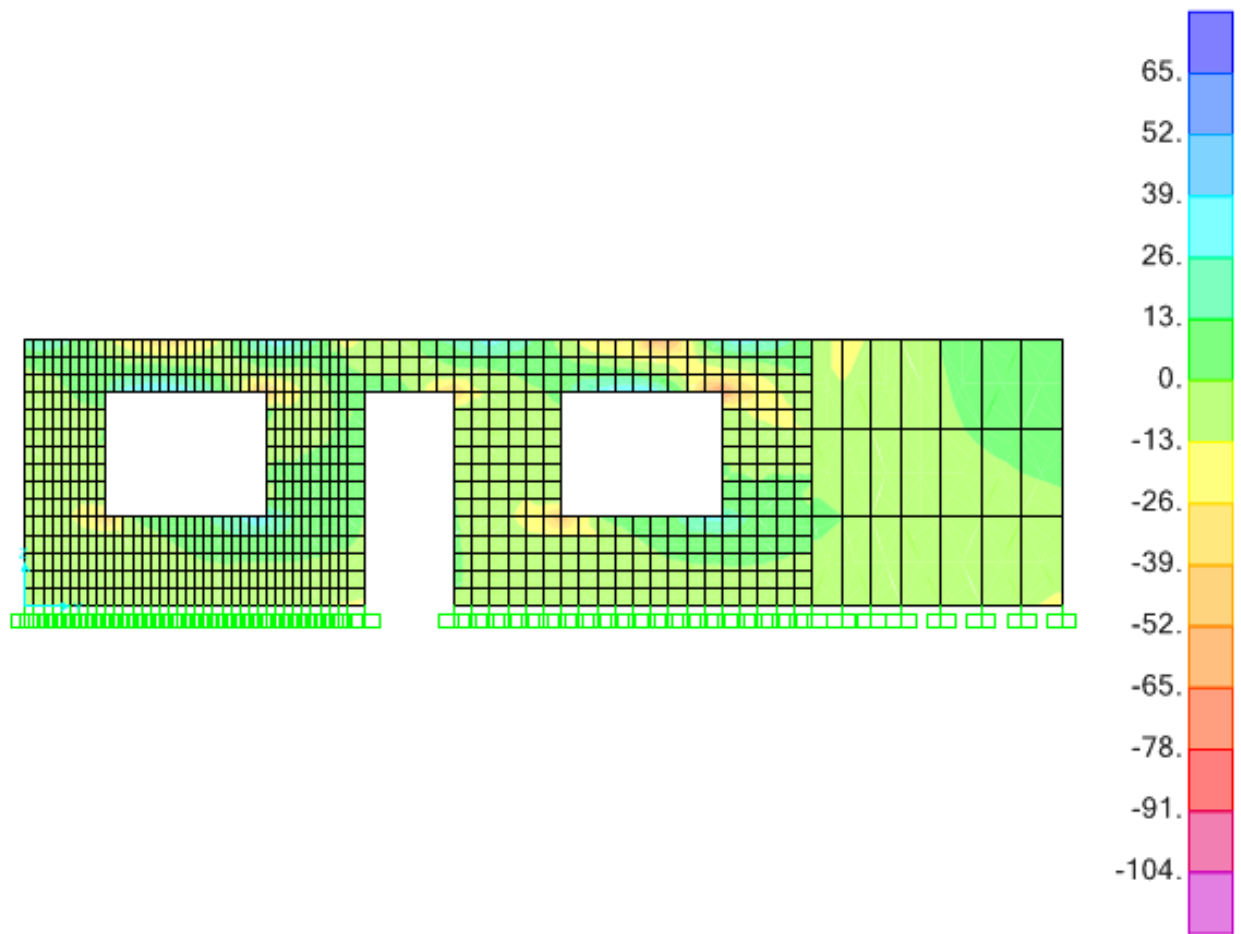


Figura. 31 Comportamiento del muro de adobe del eje E, ante fuerzas de flexión perpendicular al plano (en Kg/cm<sup>2</sup>). Fuente: Elaboración propia SAP.

#### 6. Producción del Henequén y datos.

- Henequén Fibra:
  - Largo= 120 cm.
  - Diámetro= 1/2 mm.
  - Volumen de 1 Fibra= 0.236 cm<sup>3</sup>.
  - Peso Específico= 1.288 gr/cm<sup>3</sup>.
  - Peso de 1 Fibra de Henequén= 0.304 gr.
  - Se cosechan 30 hojas/ año por cada planta.
  - 50 libras de fibra de henequén/ mil hojas.

- 22.5 Kg/ 1000 hojas.
- 0.0225 Kg fibra de henequén/ hoja x 30 hojas/planta.
- 0.675 Kg/ planta por Año.
- A 4000 Plantas/ Hectárea en el cultivo.
- 2700 Kg Fibra de henequén/ Ha.
- En cada hoja se obtienen 74 fibras. (0.0225 kg x 1000 gr / 0.304 gr.)
- En una planta al año 2220 fibras.
- El área de cada fibra o hilo es 0.00196 cm<sup>2</sup>.
- Resistencia a la Tracción Última del henequén: 5500 Kg/cm<sup>2</sup> (de tablas).

5500 Kg..... 1 cm<sup>2</sup> (de la fibra natural)

X Kg..... 0.00196 cm<sup>2</sup>

- Entonces 1 Fibra= 10.78 Kg. (Cada hilo o fibra resiste 10.78 Kg de carga o tracción aplicada).



## VI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

- Utilizando los comandos del programa de estructuras SAP se hizo un ensayo aplicando los valores hallados en la investigación, los datos necesarios recopilados en la información preliminar. Se elaboró la fuerza horizontal sísmica partiendo de la metodología propuesta por la regla técnica, como la zonificación y el factor de uso. La fuerza horizontal hallada fue 0.40 del peso de la estructura. La carga viva empleada fue 50 kg/m<sup>2</sup> y la muerta de 150 kg/m<sup>2</sup>.
- Análisis de los esfuerzos producidos en los muros de la estructura frente a un sismo. Nótese en la figura que las zonas más críticas del muro son las cercanas a las puertas (vanos) y bordeando el dintel. Valores que llegan hasta los 30 Kg/cm<sup>2</sup> según la imagen.

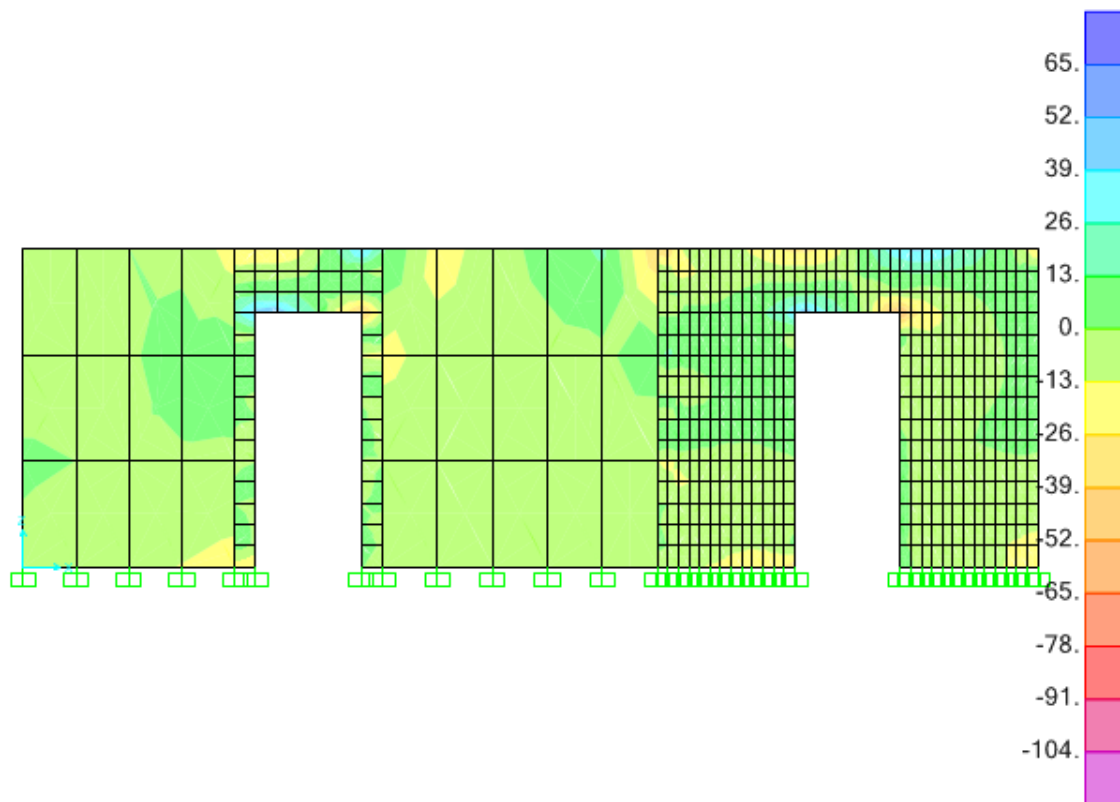


Figura. 32 Desempeño de los esfuerzos de tracción producidos en el muro del eje 2. Fuente: Elaboración propia SAP.

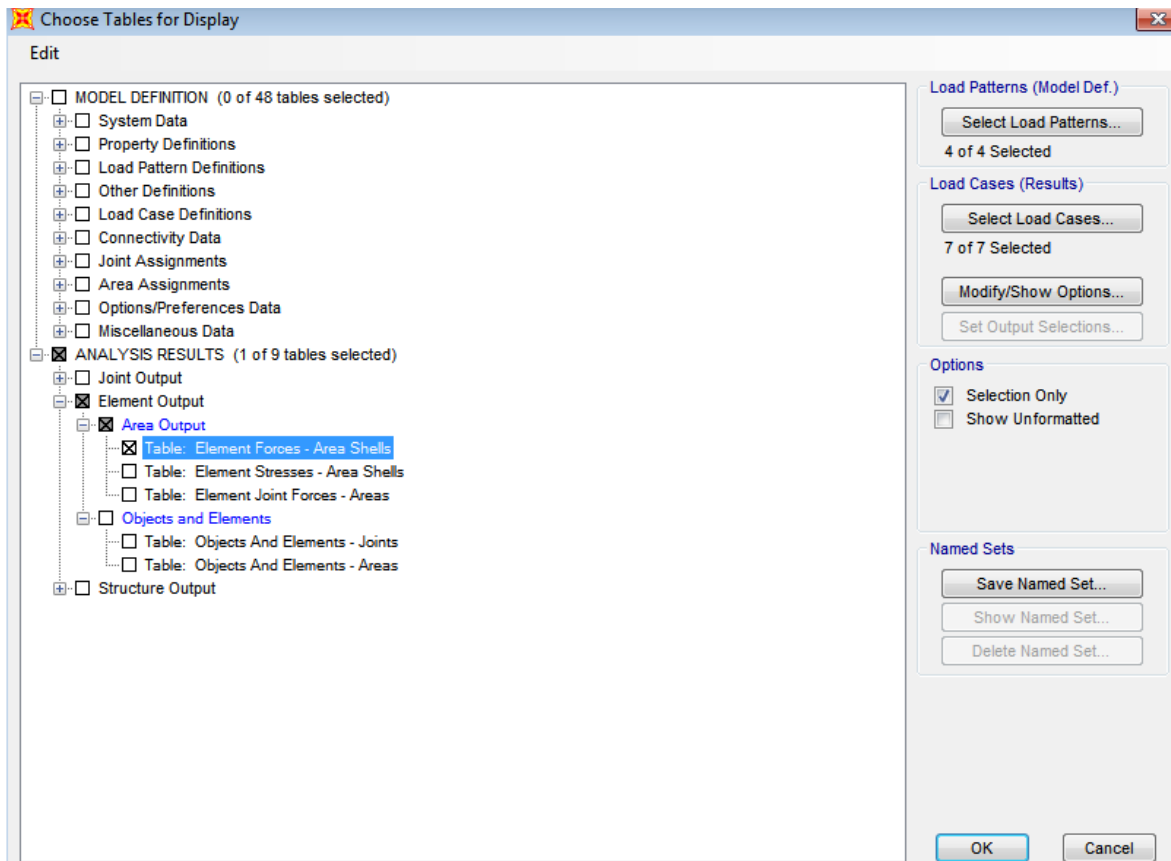


Figura. 33 Modelo en SAP de las fuerzas actuantes. Fuente: Elaboración propia SAP.

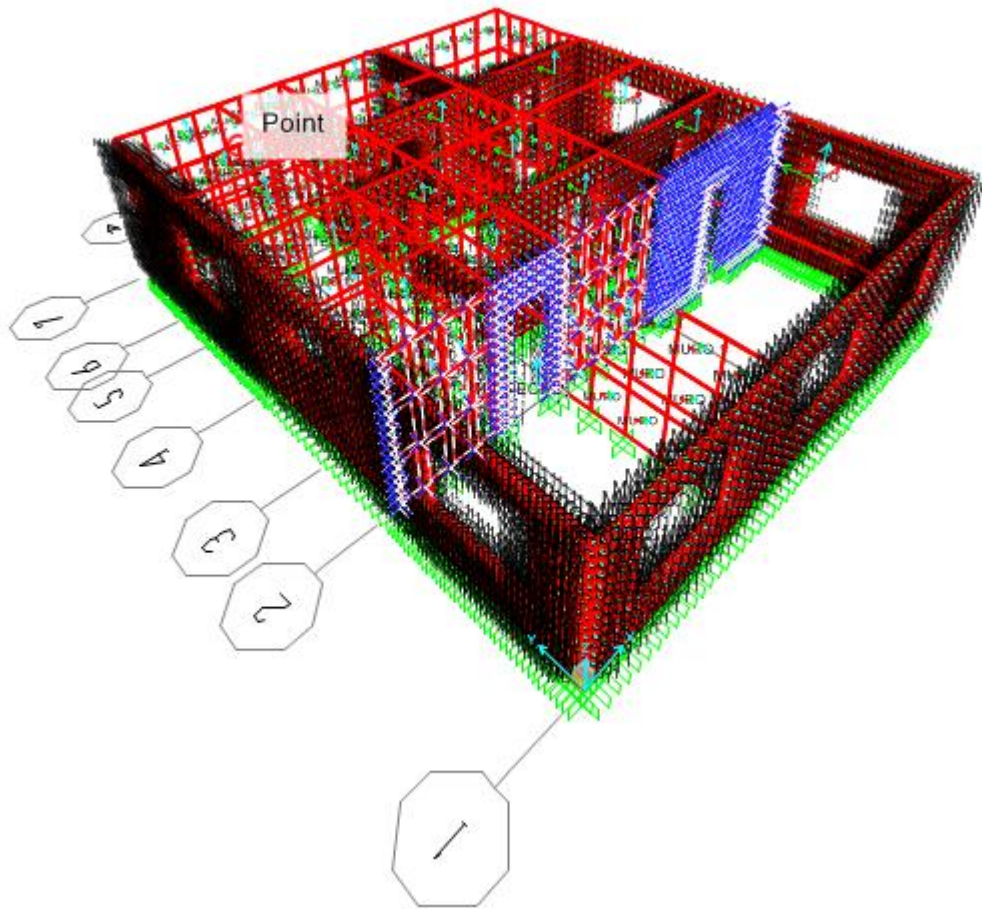


Figura. 34 Vista en 3D del análisis estructural en el eje 2. Fuente: Elaboración propia SAP.

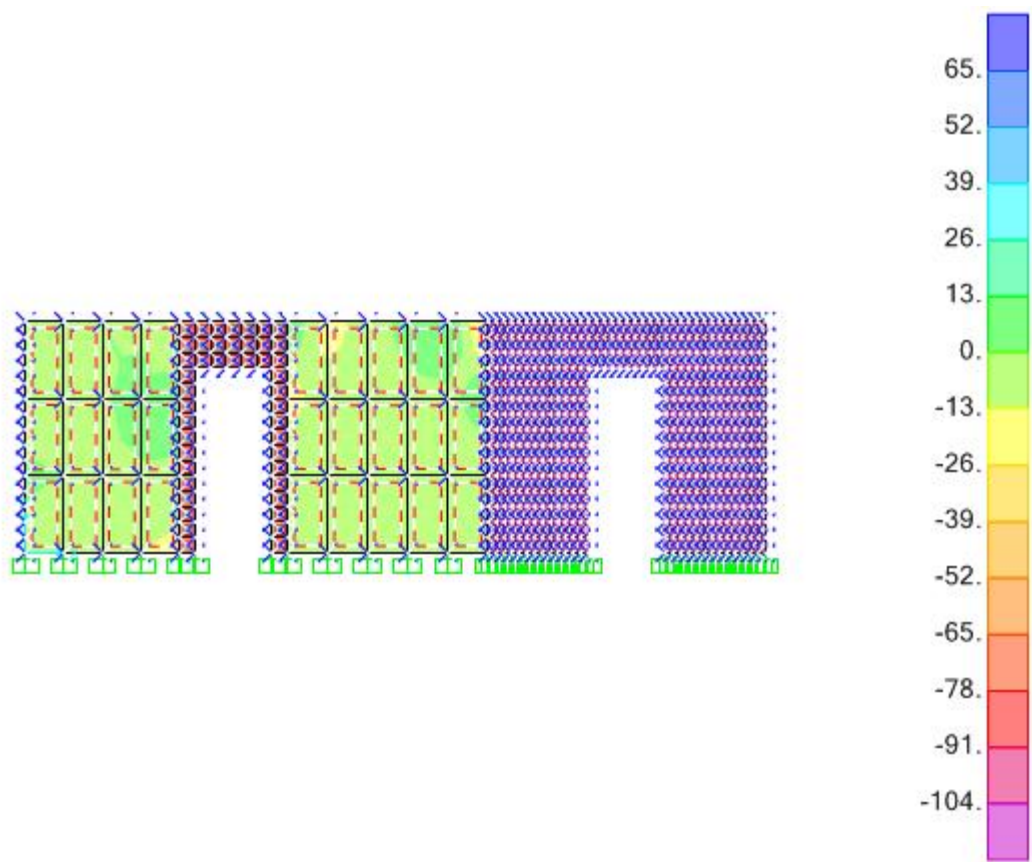


Figura. 35 Imagen del muro en el eje 2 analizado. Fuente: Elaboración propia SAP.

Area Text	AreaElem Text	ShellType Text	Joint Text	OutputCase	CaseType Text	F11 Kg/cm	F22 Kg/cm	F12 Kg/cm	FMax Kg/cm	FMin Kg/cm
1	1	Shell-Thin	15	DEAD	LinStatic	-4.8	-19.21	-1.46	-4.66	-1
1	1	Shell-Thin	63	DEAD	LinStatic	-4.69	-18.77	-0.86	-4.64	-1
1	1	Shell-Thin	69	DEAD	LinStatic	-1	-17.84	-1.19	-0.91	-1
1	1	Shell-Thin	47141	DEAD	LinStatic	-1.11	-18.29	-1.8	-0.92	-1
1	1	Shell-Thin	15	LVE	LinStatic	-4.58	-18.3	-1.28	-4.46	-1
1	1	Shell-Thin	63	LVE	LinStatic	-4.44	-17.78	-0.79	-4.4	-1
1	1	Shell-Thin	69	LVE	LinStatic	-0.89	-16.89	-1.02	-0.82	-1
1	1	Shell-Thin	47141	LVE	LinStatic	-1.02	-17.41	-1.5	-0.88	-1
1	1	Shell-Thin	15	SISMO X	LinStatic	6.02	24.07	8.84	27.68	
1	1	Shell-Thin	63	SISMO X	LinStatic	2.2	8.81	13.51	19.41	
1	1	Shell-Thin	69	SISMO X	LinStatic	0.62	8.41	23.41	28.25	-1
1	1	Shell-Thin	47141	SISMO X	LinStatic	4.44	23.68	18.74	35.12	-
1	1	Shell-Thin	15	SISMO Y	LinStatic	-4.67	-18.69	1.5	-4.51	-1
1	1	Shell-Thin	63	SISMO Y	LinStatic	-2.35	-9.41	3.08	-1.2	-1

Tabla. 10 Valores obtenidos de los esfuerzos producidos. Fuente: Elaboración propia SAP.

- En el muro del eje 2, según la Tabla. La fuerza F11 (flexión) mayor positiva es 71.53 Kg/cm<sup>2</sup> y la negativa 88.5 Kg/cm<sup>2</sup>. Se toma el mayor valor absoluto de ambas, los signos son independientes ya que se refieren sólo a la orientación del esfuerzo, en este caso de tracción (+) o compresión (-). Se consideran implícitamente las de tracción, porque las de compresión son irrelevantes dado que el adobe las soporta muy bien. Del mismo modo se elige las F22 (corte).

TABLE: Element Forces - Area Shells						
Area Text	AreaElem Text	ShellType Text	Joint Text	OutputCase	CaseType Text	F11 Kg/cm
46929	46929	Shell-Thin	47369	SISMO X	LinStatic	71.53
46644	46644	Shell-Thin	47050	SISMO X	LinStatic	68.84
46644	46644	Shell-Thin	47050	SERVICIO X	Combination	66.84
46929	46929	Shell-Thin	47385	SISMO X	LinStatic	64.81
46644	46644	Shell-Thin	47069	SERVICIO X	Combination	64.25
46644	46644	Shell-Thin	47069	SISMO X	LinStatic	61.94
46721	46721	Shell-Thin	16	SERVICIO X	Combination	57.59
46721	46721	Shell-Thin	47136	SERVICIO X	Combination	57.3
46929	46929	Shell-Thin	47369	SERVICIO X	Combination	56.31
46929	46929	Shell-Thin	47385	SERVICIO X	Combination	53.27

46736	46736	Shell-Thin	47180	SISMO X	LinStatic	-53.58
47064	47064	Shell-Thin	47513	SISMO X	LinStatic	-54.61
46704	46704	Shell-Thin	47133	SERVICIO X	Combination	-59.84
47064	47064	Shell-Thin	47529	SISMO X	LinStatic	-61.69
47064	47064	Shell-Thin	47513	SERVICIO X	Combination	-65.05
46736	46736	Shell-Thin	18	SISMO X	LinStatic	-72.84
47064	47064	Shell-Thin	47529	SERVICIO X	Combination	-75.73
46736	46736	Shell-Thin	18	SERVICIO X	Combination	-88.5

Tabla. 11 Valores obtenidos (Excel) de los esfuerzos de flexión (F11) en el muro del eje 2.  
Fuente: Elaboración propia SAP.

- Elegimos el mayor valor absoluto= 88.5 Kg/cm<sup>2</sup> (muro EJE 2).

De igual forma en el F22= 169.08 Kg/cm<sup>2</sup>.

Por lo tanto 169.08 es la máxima fuerza que incide en el muro.

169.08 Kg/10.78 Kg = 16 hilos. (En 1cm).

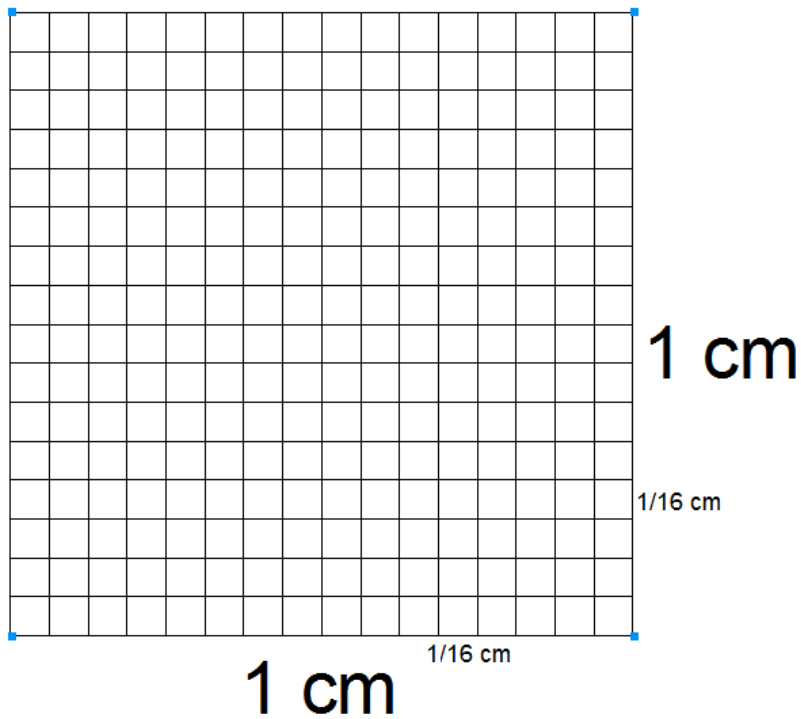


Figura. 36 Detalle malla tejida con hilos o fibras. Fuente: Elaboración propia SAP.

Es la sección de la vivienda que cuenta con mayor esfuerzo actuante. Esto, debido a que el muro posee 2 puertas de 1.0x 2.4 m, y su ancho completa los 10 m. Siendo, de este modo, además los 16 hilos la mayor cantidad de unidades por centímetro en todas las mallas, tanto de los muros transversales como de los longitudinales.

EJE 1:

$$F_{11} \text{ máx} = 112.76$$

$$F_{22} \text{ máx} = 157.53$$

$$F \text{ máx} = 157.53 \text{ Kg/cm}^2.$$

Entonces:  $157.53/10.78 = 15$  hilos en 1 cm (1/15 cm o 0.666 mm).

Aquí se colige que el esfuerzo es considerable ya que el muro tiene 3 ventanas de 1.8m x 1.4m. Los valores críticos se hallan bordeando los vanos.

EJE 3:

$$F_{11} \text{ máx} = 76.02$$

$$F_{22} \text{ máx} = 132.56$$

$$F \text{ máx} = 132.56 \text{ Kg/cm}^2.$$

Entonces:  $132.56/10.78 = 13$  hilos en 1 cm (1/13 cm o 0.769 mm).

EJE 4:

$$F_{11} \text{ máx} = 61.64$$

$$F_{22} \text{ máx} = 90.41$$

$$F \text{ máx} = 90.41 \text{ Kg/cm}^2.$$

Entonces:  $90.41/10.78 = 9$  hilos en 1 cm (1/9 cm o 1.111 mm).

Se deduce que dicho valor es bajo porque el ancho del muro es corto y porque en aquel se ubica una puerta cuya dimensión es idéntica a las anteriores.

EJE 5:

$$F_{11} \text{ máx} = 62.87$$

$$F_{22} \text{ máx} = 123.75$$

$$F \text{ máx} = 123.75 \text{ Kg/cm}^2.$$

Entonces:  $123.75/10.78 = 12$  hilos en 1 cm (1/12 cm o 0.833 mm).

EJE 6:

$$F_{11} \text{ máx} = 36.57$$

$$F_{22} \text{ máx} = 102.31$$

$$F \text{ máx} = 102.31 \text{ Kg/cm}^2.$$

Entonces:  $102.31/10.78 = 10$  hilos en 1 cm (1/10 cm o 1 mm).

EJE 7:

$$F_{11} \text{ máx} = 51.48$$

$$F_{22} \text{ máx} = 91.42$$

$$F \text{ máx} = 91.42 \text{ Kg/cm}^2.$$

Entonces:  $91.42/10.78 = 9$  hilos en 1 cm (1/9 cm o 1.111 mm).

En este muro transversal se dan los valores más bajos dado que no tiene vanos o aberturas, y por tanto el número de hilos por centímetro también disminuye. Ahora se procede con el mismo análisis en los otros muros longitudinales.

MURO A:

$$F_{11} \text{ máx} = 90.18$$

$$F_{22} \text{ máx} = 121.53$$

$$F \text{ máx} = 121.53 \text{ Kg/cm}^2.$$

Entonces:  $121.53/10.78 = 12$  hilos en 1 cm (1/12 cm o 0.833 mm).

MURO B:

$$F_{11} \text{ máx} = 40.75$$

$$F_{22} \text{ máx} = 100.9$$

$$F \text{ máx} = 100.9 \text{ Kg/cm}^2.$$

Entonces:  $100.9/10.78 = 10$  hilos en 1 cm (1/10 cm o 1 mm).

MURO C:

$$F_{11} \text{ máx} = 27.76$$



F22 máx= 56.21

F máx= 56.21 Kg/cm<sup>2</sup>.

Entonces:  $56.21/10.78 = 6$  hilos en 1 cm (1/6 cm o 1.666 mm).

MURO D:

F11 máx= 88.5

F22 máx= 162.67

F máx= 162.67 Kg/cm<sup>2</sup>.

Entonces:  $162.67/10.78 = 15$  hilos en 1 cm (1/15 cm o 0.666 mm).

MURO E:

F11 máx= 108.45

F22 máx= 130.06

F máx= 130.06 Kg/cm<sup>2</sup>.

Entonces:  $130.06/10.78 = 12$  hilos en 1 cm (1/12 cm o 0.833 mm).

- Se puede apreciar de los resultados encontrados y expuestos, que el menor valor de un esfuerzo actuante en un muro conlleva también a un menor valor de las unidades de hilos por cada centímetro de malla tejida, y viceversa en relación directa. En el muro C se generaron los valores más bajos ya que en dicha sección no hay vanos de ningún tipo. Al contrario en el muro D que contiene una puerta y una ventana.
- La densidad lineal mayor obtenida en el análisis fue de 16 hilos/cm. Se escoge este valor para fines de diseño, porque debe homogenizarse el proceso constructivo –y operativo- con un mismo elemento a reforzar, y puesto que esta medida le proporciona más seguridad al muro al ser un valor o parámetro de resistencia más alto.

## PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO DEL REFORZAMIENTO

La malla se podrá usar como refuerzo en las edificaciones de adobe, colocándolas en ambas caras de los muros portantes y no portantes, sujeta horizontal y verticalmente con cuerdas, a un máximo de separación de 300 mm o 30cm. Deberá abarcar los bordes de los vanos (puertas y ventanas) y estará convenientemente anclada a la cimentación y a la viga collar. Deberá ser embutida en un tarrajeo de barro.

- La evaluación se realizó a edificaciones construidas (existentes). Por lo tanto el refuerzo se implanta en muros ya levantados –con su cimiento, sobrecimiento y techo correspondientes-.
- Se utilizan cuerdas de 70 cm y de un grosor de 5/32", éstas deben sobresalir 15 cm a los costados de los muros. Se realiza con un taladro un hoyo en la pared de la dimensión particular, en la que la malla ingrese sin problemas a través de él, el espacio debe ser el suficiente de modo que el diámetro del agujero (orificio) sea mayor al grosor de la cuerda y ésta no se atore. Se le adiciona al hoyo un poco de tecnopor para evitar que la cuerda se deslice por el intersticio. Las cuerdas deberán estar espaciadas cada 30 cm. Como el ancho del adobe es de 10 cm, la separación vertical de la cuerda será también de 3 hiladas. Las cuerdas fijan las mallas a las paredes de la vivienda., en toda su longitud, desde el sobrecimiento hasta la viga o techo, cubriendo y amarrando todo el muro, las esquinas, sus bordes y encuentros.
- En la primera hilada, o sea en la base del muro, la longitud de la cuerda será de 1 m, en la cual sobresaldrá 30 cm por ambos lados. Esto debido a que allí se concentran los mayores esfuerzos y en donde las mallas deberán ser amarradas y tejidas fuertemente a las cuerdas. De igual manera en la última hilada de la pared contigua al techo, en los encuentros de los muros y en todo lugar en donde se hallen puntos críticos a reforzar.
- Las mallas deben estar bien pegadas a las paredes de adobe. Al momento de colocar la malla limpiar la superficie de la pared de excesos o restos de barro seco.
- La malla se coloca en cada cara del muro y se amarra con la viga collar. Se sujeta la malla usando las cuerdas.

- En el tarrajeo, cuya función estriba en aumentar la resistencia del conjunto confinado (adobe- malla), corroborar –antes de aplicarlo- que la malla esté bien templada y tensa, además de fija al muro.
- El tarrajeo protege a las mallas del sol y le da un mejor acabado a la edificación.
- La mezcla de barro debe ser la misma que la que se utilizó para el mortero: tierra, agua y paja; solo que con más paja.
- Se tarrajea con una capa de espesor de 2 cm. Opcionalmente puede agregársele al día siguiente otra capa de 0.5 cm.

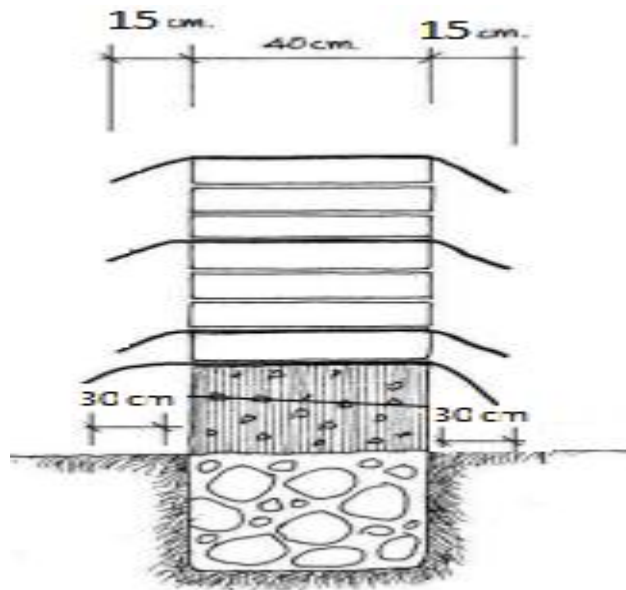


Figura. 37 Vista lateral muro de adobe con fibra natural. Fuente: Elaboración propia.

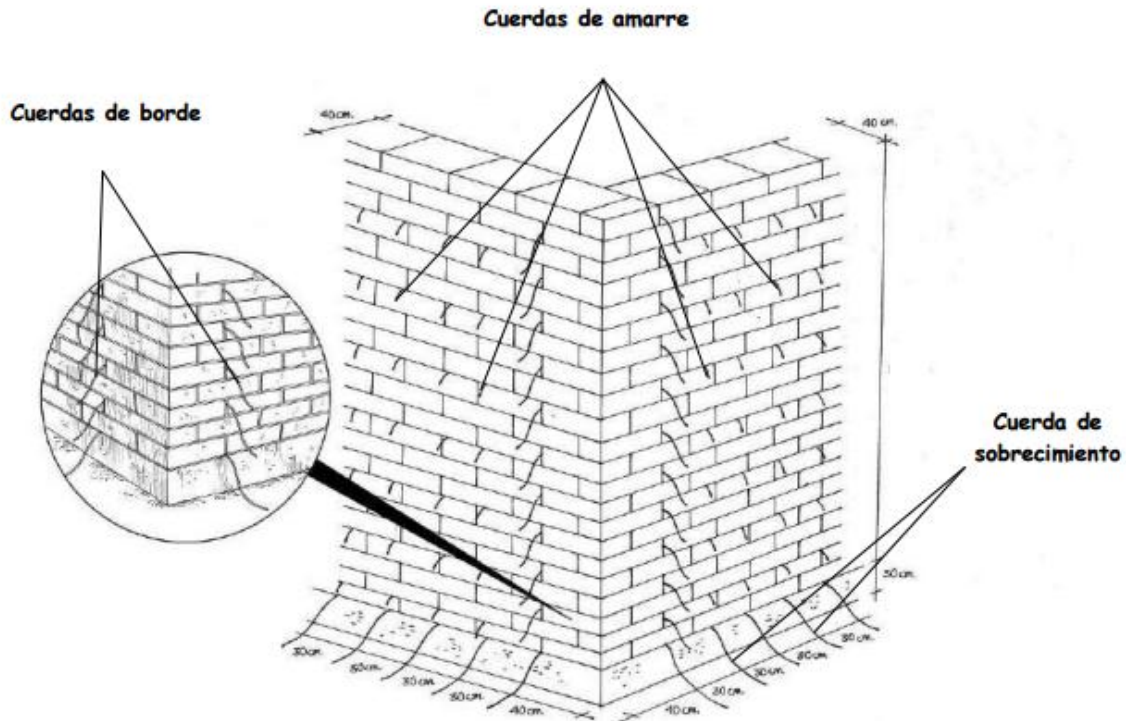


Figura 38. Vista panorámica del encuentro de muros reforzados con malla. Fuente: Elaboración propia.

- Debido a que existe la presunción de que la malla no quedará adherida al muro, confinada mediante el tarrajeo, por actuar ésta como una tela envolvente, y al tener una separación entre hilos de 1/16 cm (densidad lineal definida), se optó por redistribuir los hilos (fibras) en esa unidad de cm considerada. Será reemplazado por un nuevo arreglo espacial, reacomodando geoméricamente los hilos de tal manera que la separación entre estos nuevos hilos aumente.
- La nueva figura constará de varias fibras entrelazadas, cuya fibra mayor constituyente será de varios hilos trenzados. De los 16 hilos se tomarán los 16 para formar el trenzado a cada lado; 16 hilos (fibras) separados 1 cm de distancia, con un diámetro de fibra de aproximadamente 2.5 mm. Este arreglo mantiene inalterable las condiciones mecánicas efectuadas en el desarrollo del análisis.

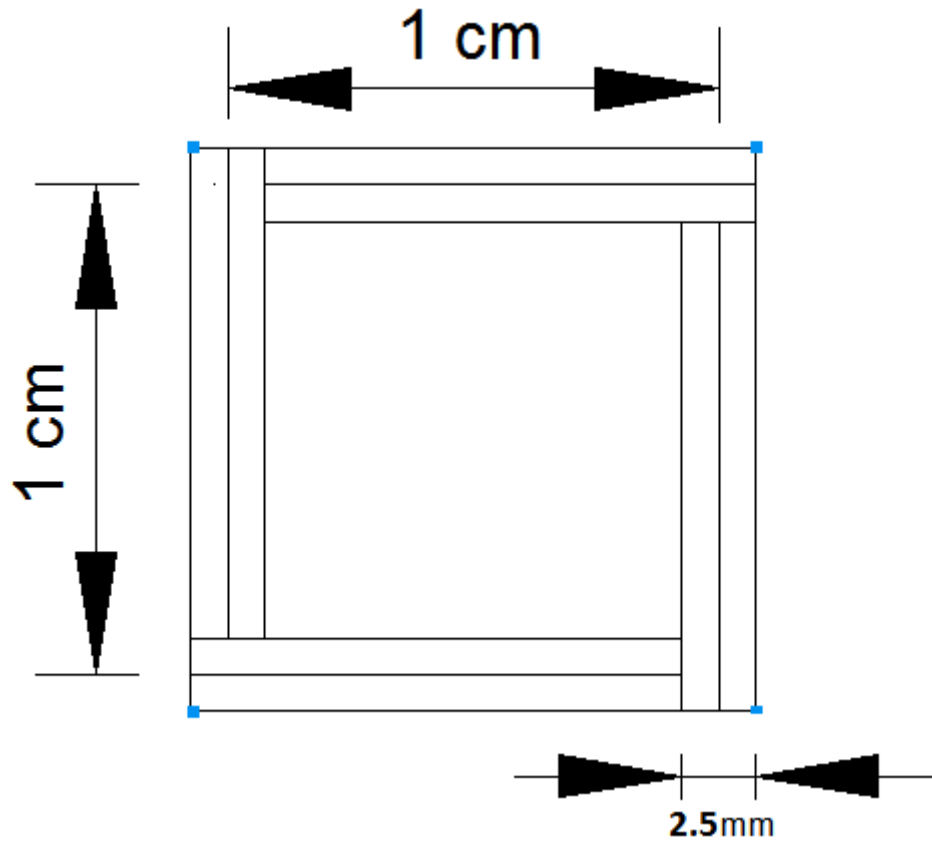


Figura. 39 Detalle Malla entretejida con 16 hilos. Fuente: Elaboración propia.

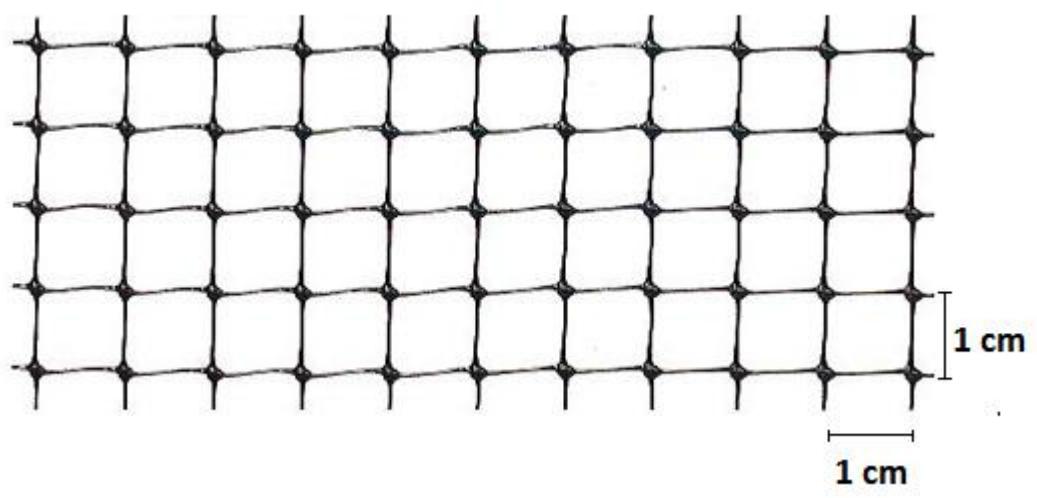


Figura. 40 Malla trenzada de 16 hilos por línea reticular. Fuente: Elaboración propia.

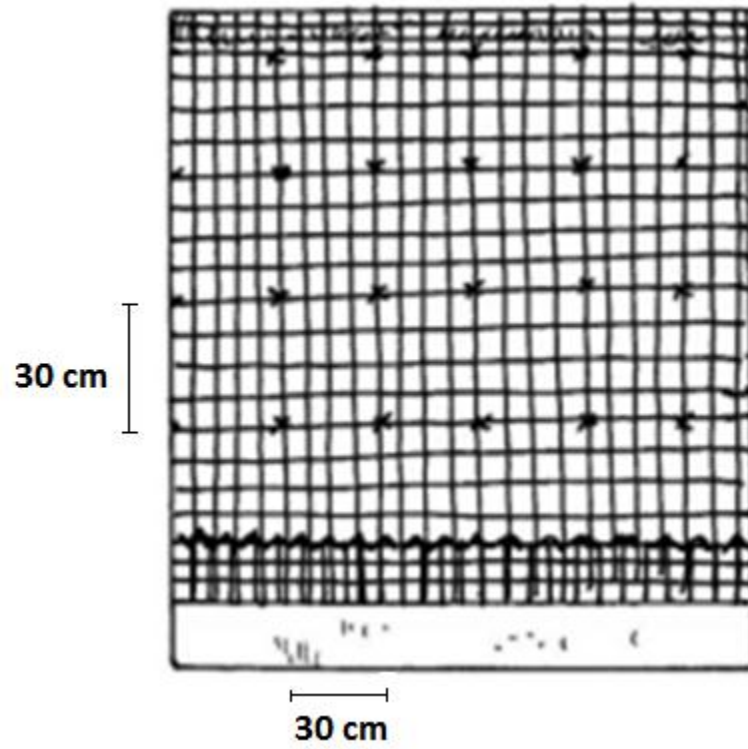


Figura. 41 Cuerdas en la pared cada 30 cm amarradas con la malla. Fuente: Elaboración propia.

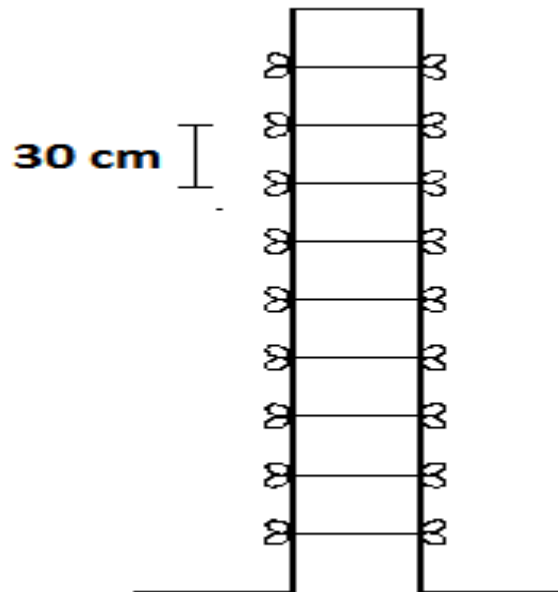


Figura 42. Gráfica en vista lateral del muro. Fuente: Elaboración propia.

## VII. CONCLUSIONES

- La fuerza horizontal o la cortante basal sísmica hallada fue de 0.4 del peso total de la estructura. Dicho valor condice con las características -como el tipo de suelo y la ubicación- que parametrizaron la zona costera de Ica. Otros factores dependieron del uso y la naturaleza de la edificación: vivienda rural de una planta.
- Si los momentos flectores actuantes (flexión F11) -por efecto de la fuerza fuera del plano- y el corte (F22), son mayores a las fuerzas resistentes propias del material (adobe), como en efecto lo fue en la casi totalidad de los muros, se pueden colocar capas de malla adicional u otro tipo de malla más resistente en las zonas que lo requieran. En este caso se utilizó la malla natural henequén por sus características mecánicas favorables y porque la encontramos in situ. Ya que le provee de tracción al muro el cual carece de ella.
- Se hizo el análisis para cada muro de los ejes. En cada uno de ellos se halló el máximo esfuerzo producido por la cortante basal sísmica, tanto en flexión como en corte. Dichos esfuerzos máximos sobrepasaron el valor per se del adobe, cuya resistencia indicaba como límite 2 Kg/cm<sup>2</sup>. Por tanto se trabajó con tales valores máximos para, a partir de ellos, diseñar la forma de la malla tejida con fibras de henequén. Se trata de 24 mallas tejidas con hilos de este material, como una red de fibra trenzada. El arreglo de las 24 mallas, cada quien con su diseño particular desarrollado, va envuelto o recubierto a los 12 muros -de lado a lado- en toda su extensión. Unidos estos muros reforzados, a lo largo y a lo ancho, por cuerdas o rafias sin medida estándar cada 30 cm, amarrados a través de orificios en la pared de la misma dimensión anterior o de grapas metálicas. Y finalmente revestidos con un tarrajeo de enlucido clásico.
- La mayor cantidad de hilos por 1 cm de lado o 1cm<sup>2</sup> de área fue de 16, en el muro transversal del eje 2. La menor cantidad de hilos se dio en el muro longitudinal "C" con 6 hilos por cm. Esto como elemento para la especificación técnica (física) de las mallas al momento de ser fabricadas como una especie de tela.
- La seguridad sísmica de cualquier edificación no es homogénea en todos sus elementos. La distribución de esfuerzos sísmicos en los muros no es uniforme. Los esfuerzos se concentran en zonas críticas como los bordes, las esquinas de los vanos, o los encuentros entre muros de diferentes características o formas, fundamentalmente en el espesor y arriostre.
- Se propuso un procedimiento basado en el método de los elementos finitos para mostrar el comportamiento en el plano de muros de adobe a través del programa de

estructuras SAP (software). A más divisiones del muro mejor el análisis: más preciso y de gran ayuda. Así, el modelo numérico representó, de forma aceptable, el comportamiento frágil de los muros de adobe sin reforzar y el comportamiento dúctil de los muros de adobe reforzados. El sistema de refuerzo propuesto (mallas) evitará el colapso frágil de los muros de adobe, puesto que reducirá las deformaciones plásticas dentro del muro y distribuirá uniformemente el patrón de grietas.

- La ventaja de un análisis con elementos finitos es que en un mismo análisis se tienen los esfuerzos de corte coplanar, y los de flexión fuera del plano, además de la concentración de esfuerzos producto de las aberturas de puertas y ventanas en los muros. En el caso de un análisis manual simplificado, los esfuerzos de tracción y de flexión fuera del plano tendrían que ser evaluados independientemente.
- Comparando los costos propuestos por Quispe y Rondón (2012), en los cuales el costo por m<sup>2</sup> de la geomalla y de la malla electrosoldada eran de S/. 31.2 y S/. 21.9 respectivamente, es lógico inferir que el de la fibra de henequén es menor, ya que prácticamente es una planta silvestre y sus costos son mínimos, por tanto le corresponde una ventaja comparativa y de mayor beneficio con respecto a los anteriormente mencionados.
- Torrealva el 2009 trabajando con geomalla biaxial de nudos rígidos obtuvo, según su metodología y bajo el criterio de diseño usado en el cálculo (que viene a ser casi el mismo para cualquier material), que el momento resistente era de 4.12 KN-m/m o que la fuerza de tracción mínima en la malla de refuerzo debía ser de 11.44 KN/m. Tomando este último valor que no es más que 11.44 Kg/cm puede compararse con las fuerzas obtenidas en los muros y que la malla es capaz de soportar, cumpliendo de esta forma los planteamientos formulados y la hipótesis. Por ejemplo al elegir la fuerza máxima hallada en este estudio que fue de 169.08 Kg/cm<sup>2</sup> o 13.003 Kg/cm, observamos que existe una correlación válida.
- Se demuestra que el esfuerzo resistente es mayor que los esfuerzos actuantes, por lo que la malla sugerida cubre tanto los esfuerzos de corte hasta el rango inelástico (ruptura) y los esfuerzos de flexión fuera del plano (tracción).
- Al aumentar la longitud de separación entre las fibras: de 1/16 a 1 cm, queda asegurada la adhesión del muro a la malla y ésta al mortero, a través de un tarrajeo de 2cm de espesor.



## VIII. RECOMENDACIONES

- Luego de haber realizado el modelo del reforzamiento de adobe con malla de henequén, a un nivel de metodología teórica, urge la necesidad de llevar esta investigación al campo de la práctica experimental. Con el fin de corroborar nuestras aseveraciones, y lo que el campo de los elementos finitos nos mostró, podría aplicarse un ensayo a escala de un prototipo de vivienda rural, sometido a una fuerza sísmica estática, incidente principalmente en un muro de adobe cubierto con una malla tejida del material propuesto.
- Fomentar la investigación de otros tipos de fibras naturales como algunos subtipos de agave que funcionarían muy bien como cuerdas, dado su resistencia a la tracción, u otras fibras naturales silvestres como el ichu. Todo con el fin de contribuir al refuerzo de la vivienda construida con adobe.
- Elaborar un catálogo o sumario indicando las especificaciones técnicas o características mecánicas como tracción, deformación, módulo de elasticidad; de las fibras naturales extraídas de plantas afines.

## IX. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Argüelles, R. (1992). *Fundamentos de Elasticidad y su Programación por Elementos Finitos*. Madrid: Belliscos.
- Arizaga, S. (1998). Biología reproductiva del henequén. Tesis doctoral. Puebla. UNAM, Fac. Cien.
- Bariola, J., Vargas, J., Torrealva, D., Y Ottazzi, G. (1988). *Earthquake Resistant Provisions for Adobe Construction in Peru*. En la 9.a Conferencia mundial de ingeniería sísmica: Tomo 8, (pp 1153). Tokio: ISBN.
- Blondet, M., Madueño, I., Torrealva, D., Villa García, G., Y Ginocchio, F. (2005). *Using Industrial Materials for Construction of Safe Adobe houses in Seismic Areas*. En la Conferencia Internacional “Construyendo con tierra”. Sydney.
- Blondet, M., Torrealva, D., Villa-García, G., Ginocchio, F., Y Madueño, I. (2004). *Reforzamiento de construcciones de adobe con elementos producidos industrialmente: Estudio preliminar*. Lima: PUCP.
- Blondet, M. (2004). *Estudio de la vulnerabilidad de viviendas informales construidas en la región Sierra*. Lima: SENCICO.
- Blondet, M. (2010). *Manual de Construcción con adobe reforzado con geomallas*. Lima: PUCP.
- Cano, A. Y Castillo, D. (2005). *Recolección y extracción de la fibra Agave lechuguilla*. México: Inifap.
- Carnicero, A. (2015). Introducción al método de los elementos finitos. Consultado el 23 de diciembre del 2015: [http://www.iit.comillas.edu/~carnicero/Resistencia/Introduccion\\_al\\_MEF.pdf](http://www.iit.comillas.edu/~carnicero/Resistencia/Introduccion_al_MEF.pdf).
- Cerna, A. (2014). Estudio de diseño sísmico en las construcciones de adobe en Huaraz. Tesis Ing. Civil. Huaraz. Universidad San Pedro, Fac. Ing.
- Chuquisengo, O., Ferradas, P. (2007). Gestión de riesgos en Áncash. Lima: Soluciones prácticas.
- Escalante, E. (n.d). Fibra de sisal. Consultado el 25 de Noviembre del 2015: <http://www.culturaorganica.com/html/articulo.php?ID=72>

- Gutierrez, L., Y Manco, M. (2006). Características sísmicas de las construcciones de tierra en el Perú. Contribución a la Enciclopedia Mundial de Vivienda. Tesis Ing. Civil. Lima. PUCP, Fac. Ciencias e Ingeniería.
- López, I. (2008). Pruebas a las fibras del agave angustifolia para determinar su comportamiento mecánico. Tesis Mg. Ciencias. Oaxaca. Instituto Politécnico Nacional, Fac. Ing. Proc.
- Mitma, M., Y Alva, H. (2005). *Microzonificación de la ciudad de Ica frente a sismos e inundaciones*. Lima: CISMID.
- Oller, S. (2002). *Análisis y Cálculo de estructuras de Materiales Compuestos*. Barcelona: CIMNE.
- Otero, R. (2000). El Cultivo de Henequén. Consultado el 23 de Enero del 2016: <http://www.utm.mx/temas/temas-docs/e0923.pdf>
- Ottazy, G. (2004). Material de Apoyo para la Enseñanza de los Cursos de Diseño y Comportamiento del Concreto Armado. Tesis Mag. Ing. Civil. Lima. PUCP, Fac. Ciencias e Ingeniería.
- Perú Info. (n,d). Consultado el 24 de Octubre del 2015: [http://www.peru-info.net/ica\\_geografia\\_y\\_medio\\_ambiente.html](http://www.peru-info.net/ica_geografia_y_medio_ambiente.html).
- Perú. Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. (2010). *Edificaciones Antisísmicas de Adobe- Manual de Construcción*. Lima: DNC.
- Perú. Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. (2016). *Norma Técnica E.030 Diseño Sismorresistente*. Lima: RNE.
- Perú. Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. (2006). *Norma Técnica E.080 Adobe*. Lima: RNE.
- Quispe, J., Y Rondón, S. (2012). Propuesta Integral para reforzamiento de edificaciones de Adobe. Tesis Ing. Civil. Lima PUCP, Fac. Ciencias e Ingeniería.
- San Bartolomé, A. (2005). Investigación en adobe. Consultado el 21 de noviembre del 2015: <http://blog.pucp.edu.pe/blog/albanileria/2007/04/24/investigaciones-en-alba-iler-a/>.

- Tavera, H. (2008). *El Terremoto de Pisco (Perú) del 15 de Agosto de 2007 (7.9 Mw)*. Lima: IGP.
- Torrealva, D., Y Acero J. (2005). *Las Geomallas Como Refuerzo Sísmico de Viviendas de Tierra – El Fin de la Vulnerabilidad Sísmica*. En Conferencia sobre el Sismo y el Adobe. Lima: PUCP.
- Torrealva D., Espinosa Y., Cerrón, C. (2008). *In plane shear and out of plane bending strength of adobe walls externally reinforced with polypropylene grids*. En la 14.a Conferencia mundial de ingeniería sísmica. Beijing.
- Torrealva, D. (2009). Diseño sísmico de muros de adobe reforzados con geomalla. Lima: PUCP.
- Vargas J., Torrealva, D., Y Blondet, M. (2007). *Construcción de casas de adobe resistentes a los terremotos utilizando refuerzo de geomalla*. Lima: PUCP.
- Vargas, J., Blondet, M., Ginoccio, F., Y Villa García, G. (2005). *La Tierra Armada: 35 Años de Investigación en la PUCP*. Seminario Internacional de Arquitectura, Construcción y Conservación de Edificaciones de Adobe en Áreas Sísmicas. Lima: PUCP.
- Vásquez, J. (n.d). Adobe. Consultado el 17 de Marzo del 2016: <https://es.scribd.com/doc/314768874/ADOBE>
- Zegarra L., Quiun, D., San Bartolomé, A., Y Giesecke, A. (1997). *Reinforcement of Existing Adobe Dwellings 2nd part: Seismic Test of Modules*. En el 11.o Congreso nacional de Ingeniería Civil: Vol. 37, (pp. 177). Trujillo: CIP.
- Zelaya, V. (2007). Estudio sobre el Diseño Sísmico en Construcciones de Adobe y su Incidencia en la Reducción de Desastres. Tesis Mag. CM. Lima. UNFV, Fac. Cien.
- Zienkiewicz, O.C., Y Taylor, R.L. (1994). *El Método de los Elementos Finitos*. Nueva York: Mc Graw Hill.

## **X. ANEXO**

**NORMA E.080**
**ADOBE**
**Artículo 1.- ALCANCE**

La Norma comprende lo referente al adobe simple o estabilizado como unidad para la construcción de albañilería con este material, así como las características, comportamiento y diseño.

El objetivo del diseño de construcciones de albañilería de adobe es proyectar edificaciones de interés social y bajo costo que resistan las acciones sísmicas, evitando la posibilidad de colapso frágil de las mismas.

Esta Norma se orienta a mejorar el actual sistema constructivo con adobe tomando como base la realidad de las construcciones de este tipo, existentes en la costa y sierra.

Los proyectos que se elaboren con alcances y bases distintos a los consideradas en esta Norma, deberán estar respaldados con un estudio técnico.

**Artículo 2.- REQUISITOS GENERALES**

2.1. El proyecto arquitectónico de edificaciones de adobe deberá adecuarse a los requisitos que se señalan en la presente Norma.

2.2. Las construcciones de adobe simple y adobe estabilizado serán diseñadas por un método racional basado en los principios de la mecánica, con criterios de comportamiento elástico.

2.3. Las construcciones de adobe se limitarán a un solo piso en la zona sísmica 3 y a dos pisos en las zonas sísmicas 2 y 1 definidas en la NTE E.030 Diseño Sismorresistente.

Por encima del primer piso de adobe, podrán tenerse estructuras livianas tales como las de quinchá o similares.

2.4. No se harán construcciones de adobe en suelos granulares sueltos, en suelos cohesivos blandos, ni arcillas expansivas. Tampoco en zonas propensas a inundaciones cauces de avalanchas, aluviones o huaycos o suelos con inestabilidad geológica.

2.5. Dependiendo de la esbeltez de los muros, se deberá incluir la colocación de refuerzos que mejoren el comportamiento integral de la estructura.

**Artículo 3.- DEFINICIONES**
**3.1. Adobe**

Se define el adobe como un bloque macizo de tierra sin cocer, el cual puede contener paja u otro material que mejore su estabilidad frente a agentes externos.

**3.2. Adobe Estabilizado**

Adobe en el que se ha incorporado otros materiales (asfalto, cemento, cal, etc.) con el fin de mejorar sus condiciones de resistencia a la compresión y estabilidad ante la presencia de humedad.

**3.3. Mortero**

Material de unión de los adobes. Puede ser barro con paja o con arena, o barro con otros componentes como asfalto, cemento, cal, yeso, bosta, etc.

**3.4. Arriostre**

Elemento que impide el libre desplazamiento del borde de muro. El arriostre puede ser vertical u horizontal.

**3.5. Altura Libre de Muro**

Es la distancia vertical libre entre elementos de arriostre horizontales.

**3.6. Largo Efectivo**

Distancia libre horizontal entre elementos de arriostre verticales o entre un elemento de arriostre y un extremo libre.

**3.7. Esbeltez**

Relación entre la altura libre del muro y su espesor.

**3.8. Muro Arriostrado**

Es un muro cuya estabilidad lateral está confiada a elementos de arriostre horizontales y/o verticales.

**3.9. Extremo Libre de Muro**

Es el borde vertical u horizontal no arriostrado de un muro.

**3.10. Vigas Collar o Soleras**

Son elementos 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 (Ver Artículo 6 (6.3)).

**3.11. Contrafuerte**

Es un arriostre vertical construido con este único fin.

**Artículo 4.- UNIDAD O BLOQUE DE ADOBE**
**4.1. Requisitos Generales**

La gradación del suelo debe aproximarse a los siguientes porcentajes: **arcilla** 10-20%, **limo** 15-25% y **arena** 55-70%, no debiéndose utilizar suelos orgánicos. Estos rangos pueden variar cuando se fabriquen adobes estabilizados. El adobe debe ser macizo y sólo se permite que tenga perforaciones perpendiculares a su cara de asiento, cara mayor, que no representen más de 12% del área bruta de esta cara.

El adobe deberá estar libre de materias extrañas, grietas, rajaduras u otros defectos que puedan degradar su resistencia o durabilidad.

**4.2. Formas y Dimensiones**

Los adobes podrán ser de planta cuadrada o rectangular y en el caso de encuentros con ángulos diferentes de 90°, de formas especiales.

Sus dimensiones deberán ajustarse a las siguientes proporciones:

- Para adobes rectangulares el largo sea aproximadamente el doble del ancho.
- La relación entre el largo y la altura debe ser del orden de 4 a 1.
- En lo posible la altura debe ser mayor a 8 cm.

**4.3. Recomendaciones para su Elaboración**

Remojar el suelo y retirar las piedras mayores de 5 mm y otros elementos extraños.

Mantener el suelo en reposo húmedo durante 24 horas. Secar los adobes bajo sombra.

**Artículo 5.- COMPORTAMIENTO SÍSMICO DE LAS CONSTRUCCIONES DE ADOBE**
**5.1. Comportamiento Sísmico de las Construcciones de Adobe**

Las fallas de las estructuras de adobe no reforzadas, debidas a sismos, son frágiles. Usualmente la poca resistencia a la tracción de la albañilería produce la falla del amarre de los muros en las esquinas, empezando por la parte superior; esto a su vez aísla los muros unos de otros y conduce a una pérdida de estabilidad lateral, produciendo el desplome del mismo fuera de su plano.

Si se controla la falla de las esquinas, entonces el muro podrá soportar fuerzas sísmicas horizontales en su plano las que pueden producir el segundo tipo de falla que es por fuerza cortante. En este caso aparecen las típicas grietas inclinadas de tracción diagonal.

Las construcciones de adobe deberán cumplir con las siguientes características generales de configuración:

- Suficiente longitud de muros en cada dirección, de ser posible todos portantes.
- Tener una planta que tienda a ser simétrica, preferentemente cuadrada.
- Los vanos deben ser pequeños y de preferencia centrados.
- Dependiendo de la esbeltez de los muros, se definirá un sistema de refuerzo que asegure el amarre de las esquinas y encuentros.

**5.2. Fuerzas Sísmicas Horizontales**

La fuerza sísmica horizontal en la base para las edificaciones de adobe se determinará con la siguiente expresión:

$$H = S U C P$$

Donde:

- S:** Factor de suelo (indicado en la Tabla 1),
- U:** Factor de uso (indicados en la Tabla 2),
- C:** Coeficiente sísmico (indicado en la Tabla 3) y
- P:** Peso total de la edificación, incluyendo carga muerta y el 50% de la carga viva.

**TABLA 1**

Tipo	Descripción	Factor S
I	Rocas o suelos muy resistentes con capacidad portante admisible $\geq 3 \text{ Kg/cm}^2$	1,0
II	Suelos intermedios o blandos con capacidad portante admisible $\geq 1 \text{ Kg/cm}^2$	1,2

**TABLA 2**

Tipo de las Edificaciones	Factor U
Colegios, Postas Médicas, Locales Comunales, Locales Públicos	1,3
Viviendas y otras edificaciones comunes	1,0

**5.3. Comportamiento del Adobe Frente a Cargas Verticales**

Usualmente la resistencia de la albañilería a cargas verticales no presenta problemas para soportar la carga de uno o dos pisos. Se debe mencionar sin embargo que los elementos que conforman los entrepisos o techos de estas edificaciones, deben estar adecuadamente fijados al muro mediante la viga collar o solera.

**TABLA 3**

Zonas Sísmica	Coefficiente Sísmico C
3	0,20
2	0,15
1	0,10

**ZONAS SÍSMICAS\*  
FIGURA 1**



\* Ver Anexo

**5.4. Protección de las Construcciones de Adobe**

La humedad y la erosión producidas en los muros, son principales causantes del deterioro de las construcciones de tierra, siendo necesaria su protección a través de:

- Recubrimientos resistentes a la humedad
- Cimientos y sobrecimientos que eviten el contacto del muro con el suelo
- Veredas perimetrales
- Aleros
- Sistemas de drenaje adecuados

**Artículo 6.- SISTEMA ESTRUCTURAL**

El sistema estructural de las construcciones de adobe estará compuesto de:

- a) Cimentación
- b) Muros
- c) Elementos de arriostre horizontal
- d) Elementos de arriostre vertical
- e) Entrepiso y techo
- f) Refuerzos

**6.1. Cimentación**

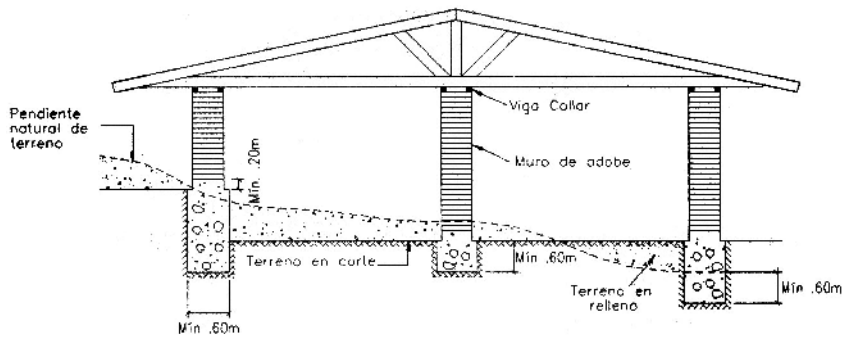
a) No se harán construcciones de adobe en suelos granulares sueltos, en suelos cohesivos blandos ni en arcillas expansivas. Tampoco en zonas propensas a inundaciones, cauces de avalanchas, aluviones o huaycos, o suelos con inestabilidad geológica.

b) La cimentación deberá transmitir la carga de los muros al terreno de acuerdo a su esfuerzo permisible y tendrá una profundidad mínima de 60 cm medida a partir del terreno natural y un ancho mínimo de 40 cm.

c) Los cimientos para los muros deberán ser concreto ciclópeo o albañilería de piedra. En zonas no lluviosas de comprobada regularidad e imposibilidad de inundación, se permitirá el uso de mortero Tipo II para unir la mampostería de piedra (Ver Artículo 7 (7.2)).

d) El sobrecimiento deberá ser de concreto ciclópeo o albañilería de piedra asentada con mortero Tipo I (Ver Artículo 7 (7.11)), y tendrá una altura tal que sobresalga como mínimo 20 cm sobre el nivel del suelo. (Ver Figura 2).

FIGURA 2



### 6.2. Muros

a) Deberá considerarse la estabilidad de todos los muros. Esto se conseguirá controlando la esbeltez y utilizando arriostres o refuerzos.

b) Las unidades de adobe deberán estar secas antes de su utilización y se dispondrá en hiladas sucesivas considerando traslape tal como se muestra en las Figuras 3 y 4.

c) El espesor de los muros se determinará en función de la altura libre de los mismos y la longitud máxima del muro entre arriostres verticales será 12 veces el espesor del muro. (Ver Tabla 4)

d) En general los vanos deberán estar preferentemente centrados. El borde vertical no arriostrado de puertas y

ventanas deberá ser considerado como borde libre.

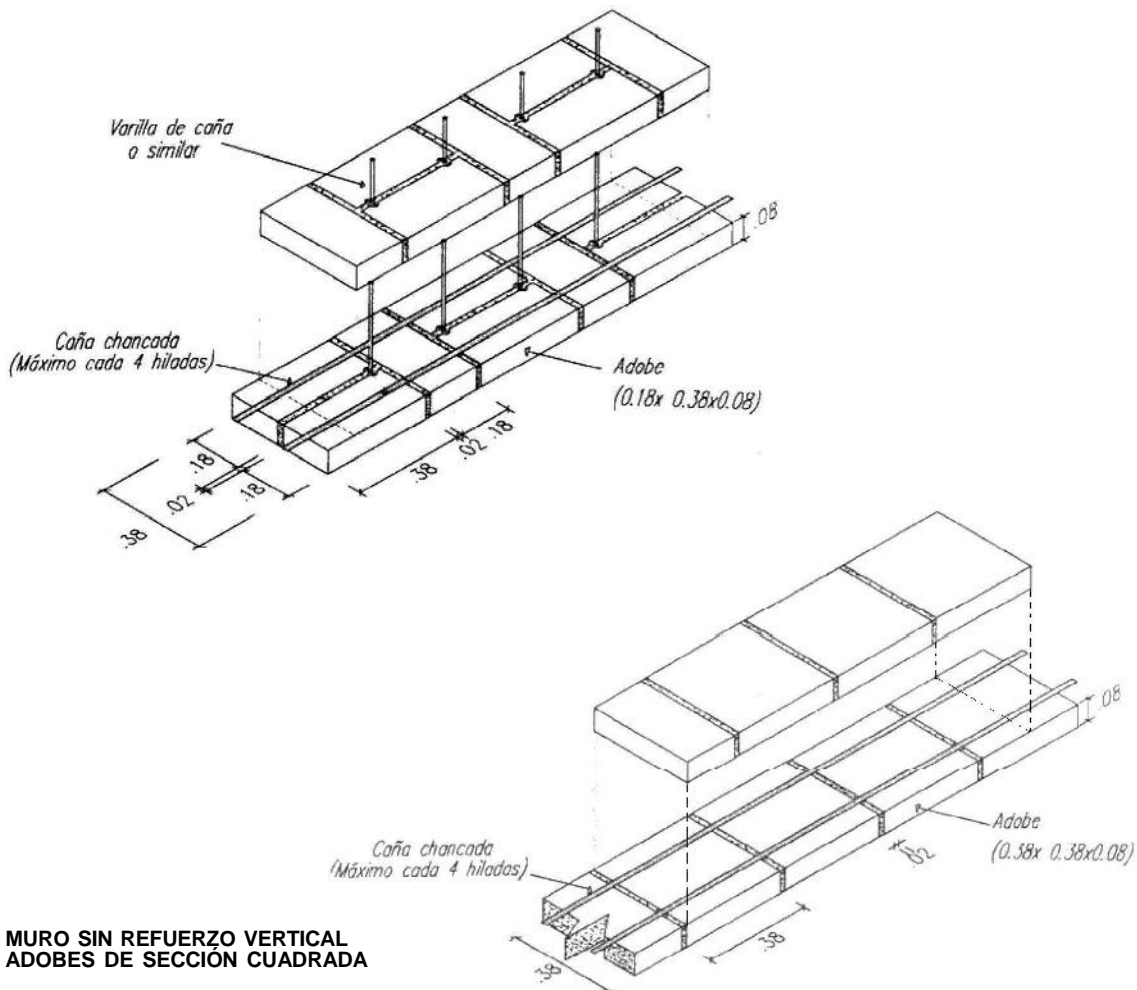
El ancho máximo de puertas y ventanas (vanos) será de 1/3 de la longitud del muro y la distancia entre el borde libre al arriostre vertical más próximo no será menor de 3 ni mayor de 5 veces el espesor del muro. Se exceptúa la condición de 3 veces el espesor del muro en el caso que el muro esté arriostrado al extremo (Ver Figura N° 5)

e) Como refuerzo se podrá utilizar cualquier material de los especificados en la Artículo 6 (6.4).

f) Los muros deberán ser diseñados para garantizar su resistencia, según lo especificado en la Artículo 8.

g) En caso de muros cuyos encuentros sean diferentes a 90° se diseñarán bloques especiales detallándose los encuentros.

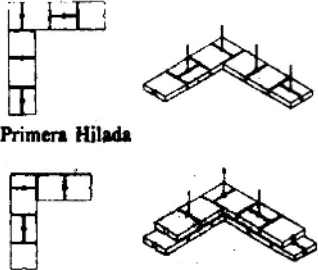
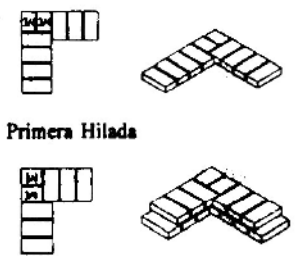
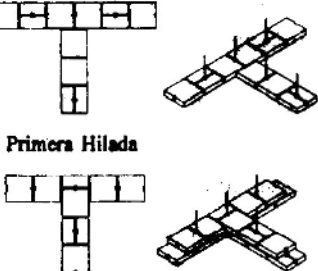
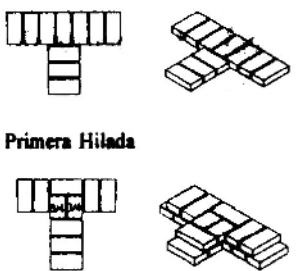
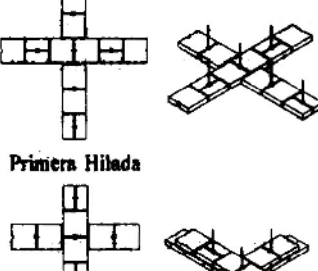
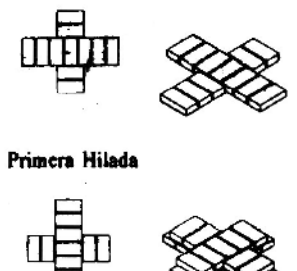
FIGURA 3  
 MURO REFORZADO CON CAÑA O SIMILAR VERTICAL Y HORIZONTAL



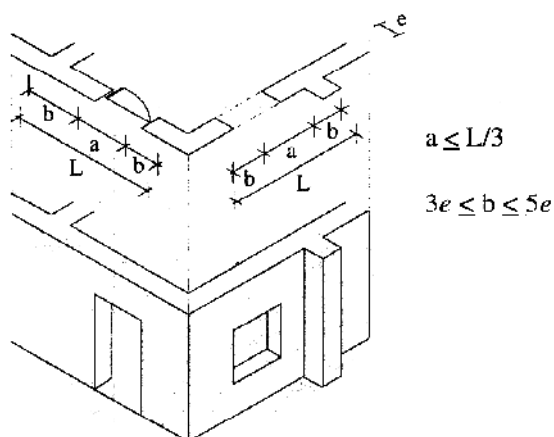
**MURO SIN REFUERZO VERTICAL  
 ADOBES DE SECCIÓN CUADRADA**



**FIGURA 4**  
**TIPOS AMARRE EN ENCUENTROS DE MUROS DE ADOBE CON O SIN REFUERZO**

Tipo de encuentro	Muros Reforzados	Muros no Reforzados
<b>En L</b>	 <p>Primera Hilada</p> <p>Segunda Hilada</p>	 <p>Primera Hilada</p> <p>Segunda Hilada</p>
<b>En T</b>	 <p>Primera Hilada</p> <p>Segunda Hilada</p>	 <p>Primera Hilada</p> <p>Segunda Hilada</p>
<b>En X</b>	 <p>Primera Hilada</p> <p>Segunda Hilada</p>	 <p>Primera Hilada</p> <p>Segunda Hilada</p>

**FIGURA 5**



**6.3. Elementos de Arriostre**

a) Para que un muro se considere arriostrado deberá existir suficiente adherencia o anclaje entre éste y sus elementos de arriostre, para garantizar una adecuada transferencia de esfuerzos.

b) Los elementos de arriostre serán verticales y horizontales.

c) Los arriostres verticales serán muros transversales o contrafuertes especialmente diseñados. Tendrán una adecuada resistencia y estabilidad para transmitir fuerzas cortantes a la cimentación.

Para que un muro o contrafuertes se considere como arriostre vertical tendrá una longitud en la base mayor o igual que 3 veces el espesor del muro que se desee arriostrar.

d) Pueden usarse como elementos de arriostre vertical, en lugar de los muros transversales o de los contrafuertes de adobe, refuerzos especiales como son las columnas de concreto armado que se detallan en la Sección 6.4, refuerzos especiales.

e) Los arriostres horizontales son elementos o conjunto de elementos que poseen una rigidez suficiente en el plano horizontal para impedir el libre desplazamiento lateral de los muros.

Los elementos de arriostre horizontal más comunes son los denominados viga collar o solera. Estas pueden ser de madera o en casos especiales de concreto madera. (Ver Artículo 6 (6.4)).

f) Los elementos de arriostre horizontal se diseñarán como apoyos del muro arriostreado, considerándose al muro como una losa vertical sujeta a fuerzas horizontales perpendiculares a él.



g) Se deberá garantizar la adecuada transferencia de esfuerzos entre el muro y sus arriostres, los que deberán conformar un sistema continuo e integrado.

#### 6.4. Refuerzos Especiales

De acuerdo a la esbeltez de los muros que se indican en la Tabla 4, se requieren refuerzos especiales. Estos tienen como objetivo mejorar la conexión en los encuentros de muros o aumentar la ductilidad de los muros. Dentro de los refuerzos especiales más usados se tienen caña, madera o similares, malla de alambre y columnas de concreto armado.

Se detallarán especialmente los anclajes y empalmes de los refuerzos para garantizar su comportamiento eficaz.

**TABLA 4**

Esbeltez	Arriostres y Refuerzos Obligatorios	Espesor mín. Muro (m)	Altura mín. Muro (m)
$\lambda \leq 6$	Solera	0,4 – 0,5	2,4 – 3,0
6 	Solera + elementos de refuerzos horizontal y vertical en los encuentros de muros	0,3 – 0,5	2,4 – 4,0
8 	Solera + elementos de refuerzos horizontal y vertical en toda la longitud de los muros	0,3 – 0,5	2,7 – 4,5

En casos especiales  $\lambda$  podrá ser mayor de 9 pero menor de 12, siempre y cuando se respalde con un estudio técnico que considere refuerzos que garanticen la estabilidad de la estructura.

#### a) Caña madera o similares

Estos refuerzos serán tiras, colocadas horizontalmente cada cierto número de hiladas (máximo cada 4 hiladas) y estarán unidas entre sí mediante amarres adecuados en los encuentros y esquinas. Podrán usarse en los encuentros y esquineros de los muros o en toda la longitud de los muros, dependiendo de lo indicado en la Tabla 4.

En el caso de que se utilicen unidades cuya altura sea mayor de 10 cm, las tiras de caña tendrán un espaciamiento máximo de 40 cm.

Las tiras de caña o similares se colocarán necesariamente coincidentes con el nivel superior o inferior de todos los vanos.

Se colocarán cañas o elementos de características similares como refuerzos verticales, ya sea en un plano central entre unidades de adobe (Ver Figura 3), o en alvéolos de mínimo 5 cm de diámetro dejados en los adobes (Ver Figura 3).

En ambos casos se rellenarán los vacíos con mortero.

En esfuerzo vertical deberá estar anclado a la cimentación y fijado a la solera superior. Se usará caña madura y seca o elementos rectos y secos de eucalipto u otros similares.

Se podrá usar madera en dinteles de vanos y vigas soleras sobre los muros.

La viga solera se anclará adecuadamente al muro y al dintel si lo hubiese.

#### b) Malla de alambre

Se puede usar como refuerzo exterior aplicado sobre la superficie del muro y anclado adecuadamente a él. Deberá estar protegido por una capa de mortero de cemento – arena de 4 cm aproximadamente.

La colocación de la malla puede hacerse en una o dos caras del muro, en cuyo caso se unirá ambas capas mediante elementos de conexión a través del muro. Su uso es eficiente en las esquinas asegurado un traslape adecuado.

#### c) Columnas y vigas de concreto armado

La utilización de columnas de concreto armado como confinamiento de muros de adobe debe utilizarse en casos en que el espesor del muro no exceda los 25 cm y se utilice para unir los adobes un mortero que contenga cemento para poder anclar alambre de  $\frac{1}{4}$ » cada tres hiladas

con la finalidad de conseguir una adecuada transmisión de esfuerzos entre el muro y la columna.

La utilización de vigas soleras de concreto armado tiene como objetivo contribuir a formar un diagrama rígido en el nivel en que se construya, puede ser colocado en varios niveles formando anillos cerrados, pero principalmente debe colocarse en la parte superior. Se puede combinar con elementos de refuerzo verticales como cañas o columnas de concreto armado.

De acuerdo al espesor de los muros, se deberá colocar el refuerzo que se indica en la Tabla 4.

En casos especiales se podrá considerar espesores de muro de 20 – 25 cm, siempre que se respalde por un estudio técnico que considere refuerzos verticales y horizontales.

#### 6.5. Techos

a) Los techos deberán en lo posible ser livianos, distribuyendo su carga en la mayor cantidad posible de muros, evitando concentraciones de esfuerzos en los muros; además, deberán estar adecuadamente fijados a éstos a través de la viga solera.

b) Los techos deberán ser diseñados de tal manera que no produzcan en los muros, empujes laterales que provengan de las cargas gravitacionales.

c) En general, los techos livianos no pueden considerarse como diafragmas rígidos y por tanto no contribuyen a la distribución de fuerzas horizontales entre los muros. La distribución de las fuerzas de sismo se hará por zonas de influencia sobre cada muro longitudinal, considerando la propia masa y las fracciones pertinentes de las masas de los muros transversales y la del techo.

d) En el caso de utilizar tijerales, el sistema estructural del techado deberá garantizar la estabilidad lateral de los tijerales.

e) En los techos de las construcciones se deberá considerar las pendientes, las características de impermeabilidad, asilamiento térmico y longitud de los aleros de acuerdo a las condiciones climáticas de cada lugar.

#### Artículo 7.- MORTEROS

Los morteros se clasificarán en dos grupos:

- a) **Tipo I** (en base a tierra con algún aglomerante como cemento, cal, asfalto, etc.).
- b) **Tipo II** (en base a tierra con paja).

Se considera que las juntas de la albañilería constituyen las zonas críticas, en consecuencia ellas deberán contener un mortero del tipo I ó II de buena calidad.

#### 7.1. Mortero Tipo I

Mortero de suelo y algún aglomerante como cemento, cal o asfalto.

Deberá utilizarse la cantidad de agua que permita una adecuada trabajabilidad.

Las proporciones dependen de las características granulométricas de los agregados y de las características específicas de otros componentes que puedan emplearse.

#### 7.2. Mortero Tipo II

La composición del mortero debe cumplir los mismos lineamientos que las unidades de adobe y de ninguna manera tendrá una calidad menor que las mismas.

Deberá emplearse la cantidad de agua que sea necesaria para una mezcla trabajable.

Las juntas horizontales y verticales no deberán exceder de 2 cm y deberán ser llenadas completamente.

#### Artículo 8.- ESFUERZOS ADMISIBLES

Los ensayos para la obtención de los esfuerzos admisibles de diseño considerarán la variabilidad de los materiales a usarse.

Para fines de diseño se considerará los siguientes esfuerzos mínimos

- Resistencia a la compresión de la unidad:

$$f_o = 12 \text{ kg / cm}^2$$

- Resistencia a la compresión de la albañilería:

$$f_m = 0,2 f_o \text{ ó } 2 \text{ kg / cm}^2$$

● Resistencia a la compresión por aplastamiento:

$$1,25 f_m$$

● Resistencia al corte de la albañilería:

$$V_m = 0,25 \text{ kg/cm}^2$$

**8.1. Resistencia a la Compresión de la Unidad**

La resistencia a la compresión de la unidad se determinará ensayando cubos labrados cuya arista será igual a la menor dimensión de la unidad de adobe.

El valor del esfuerzo resistente en compresión se obtendrá en base al área de la sección transversal, debiéndose ensayar un mínimo de 6 cubos, definiéndose la resistencia última ( $f_o$ ) como el valor que sobrepase en el 80% de las piezas ensayadas.

Los ensayos se harán utilizando piezas completamente secas, siendo el valor de  $f_o$  mínimo aceptable de 12 kg/cm<sup>2</sup>.

La resistencia a la compresión de la unidad es un índice de la calidad de la misma y no de la albañilería.

**8.2. Resistencia a la Compresión de la Albañilería**

La resistencia a la compresión de la albañilería podrá determinarse por:

a) Ensayos de pilas con materiales y tecnología a usar en obra.

Las pilas estarán compuestas por el número entero de adobes necesarios para obtener un coeficiente de esbeltez (altura / espesor) del orden de aproximadamente tres (3), debiéndose tener especial cuidado en mantener su verticalidad.

El número mínimo de adobes será de cuatro (4) y el espesor de las juntas será de 2 cm. La disposición del ensayo será la mostrada en la Figura 6.

El tiempo de secado del mortero de las pilas será de 30 días y el número mínimo de pilas a ensayar será de tres (3).

Mediante estos ensayos se obtiene el esfuerzo último  $f'_m$  en compresión de la pila, considerándose aquel valor que sobrepasa en 2 de la 3 pilas ensayadas.

Es esfuerzo admisible a compresión del muro ( $f_m$ ) se obtendrá con la siguiente expresión:

$$f_m = 0,25 f'_m$$

Donde:

$f'_m$  = esfuerzo de compresión último de la pila

b) Alternativamente cuando no se realicen ensayos de pilas, se podrá usar el siguiente esfuerzo admisible:

$$f_m = 2,0 \text{ Kg/cm}^2$$

**8.3. Esfuerzo Admisible de Compresión por Aplastamiento**

El esfuerzo admisible de compresión por aplastamiento será:  $1,25 f_m$

**8.4 Resistencia al Corte de la Albañilería**

La resistencia al corte de la albañilería se podrá determinar por:

a) Ensayos de compresión diagonal con materiales y tecnología a usarse en obra.

La disposición del ensayo será la mostrada en la Figura 7.

Se ensayarán un mínimo de tres (3) especímenes.

El esfuerzo admisible al corte del muro ( $V_m$ ) se obtendrá con la expresión:

$$V_m = 0,4 f'_t$$

Donde:

$f'_t$  = esfuerzo último del murete de ensayo.

Este valor será el sobrepasado por 2 de cada 3 de los muretes ensayados.

b) Alternativamente cuando no se realicen ensayos de muretes, se podrá usar el siguiente esfuerzo admisible al corte:

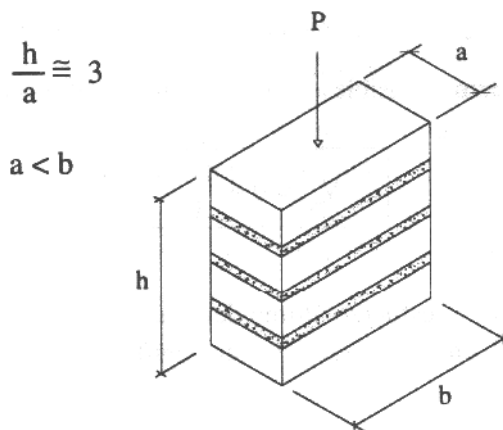
$$V_m = 0,25 \text{ kg/cm}^2$$

**Artículo 9.- DISEÑO DE MUROS**

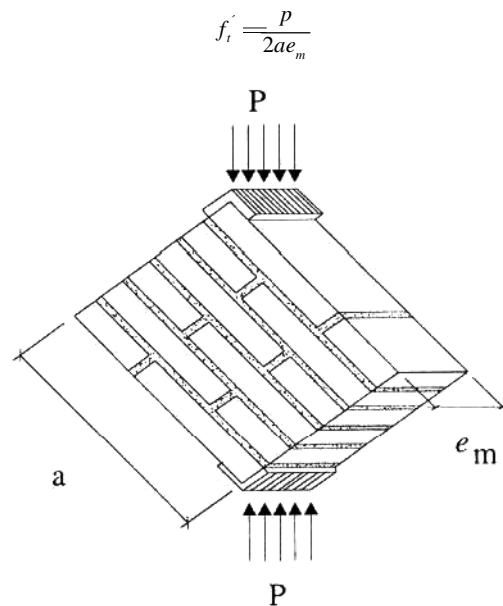
**9.1. Diseño de Muros Longitudinales**

La aplicación de la resistencia  $V_m$  se efectuará sobre el área transversal crítica de cada muro, descontando vanos si fuera el caso.

**FIGURA 6  
ENSAYO DE COMPRESIÓN AXIAL**



**FIGURA 7.  
ENSAYO DE COMPRESIÓN DIAGONAL**



**ANEXO**

**ZONIFICACIÓN SÍSMICA**

Las zonas sísmicas en que se divide el territorio peruano, para fines de esta Norma se muestran en la Figura 1. A continuación se especifican las provincias de cada zona.

**Zona 1**

1. Departamento de Loreto. Provincias de Ramón Castilla, Maynas, y Requena.
2. Departamento de Ucayali. Provincia de Purús.
3. Departamento de Madre de Dios. Provincia de Tahuamanú.

**Zona 2**

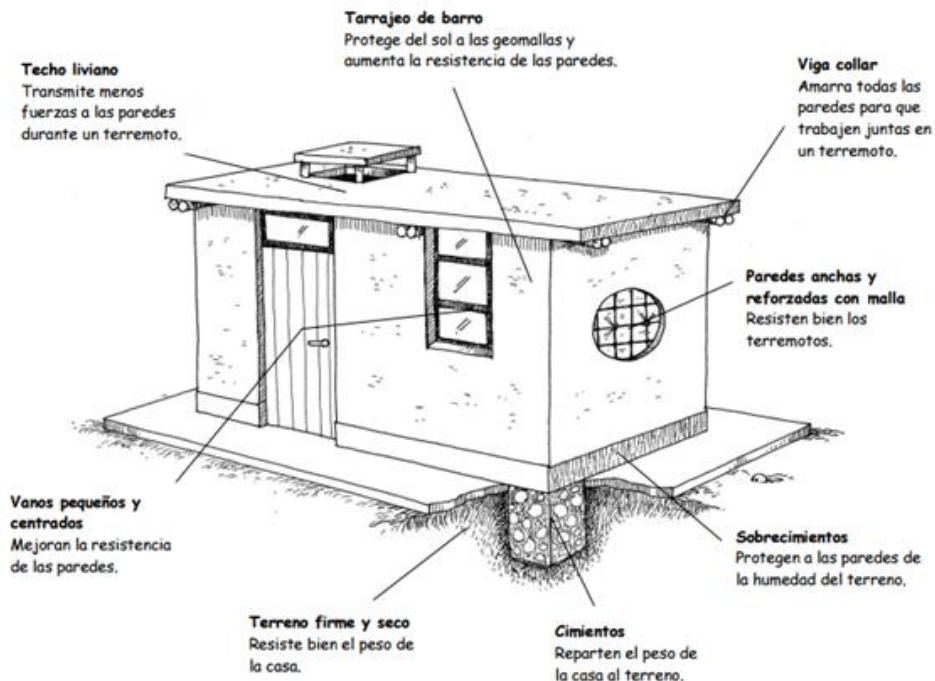
1. Departamento de Loreto. Provincias de Loreto, Alto Amazonas y Ucayali.

2. Departamento de Amazonas. Todas las provincias.
3. Departamento de San Martín. Todas las provincias.
4. Departamento de Huánuco. Todas las provincias.
5. Departamento de Ucayali. Provincias de Coronel Por­tillo, Atalaya y Padre Abad.
6. Departamento de Cerro de Pasco. Todas las provin­cias.
7. Departamento de Junín. Todas las provincias.
8. Departamento de Huancavelica. Provincias de Aco­bamba, Angaraes, Churcampa, Tayacaja y Huancavelica.
9. Departamento de Ayacucho. Provincias de Sucre, Huamanga, Huanta y Vilcashuaman.
10. Departamento de Apurímac. Todas las provincias.
11. Departamento de Cusco. Todas las provincias.
12. Departamento de Madre de Dios. Provincias de Tambopata y Manú.
13. Departamento de Puno. Todas las provincias.

**Zona 3**

1. Departamento de Tumbes. Todas las provincias.
2. Departamento de Piura. Todas las provincias.
3. Departamento de Cajamarca. Todas las provincias.
4. Departamento de Lambayeque. Todas las provin­cias.
5. Departamento de La Libertad. Todas las provincias.
6. Departamento de Ancash. Todas las provincias.
7. Departamento de Lima. Todas las provincias.
8. Provincia Constitucional del Callao.
9. Departamento de Ica. Todas las provincias.
10. Departamento de Huancavelica. Provincias de Cas­trovirreyña y Huaytará.
11. Departamento de Ayacucho. Provincias de Canga­llo, Huanca Sancos, Lucanas, Víctor Fajardo, Parinaco­chas y Paucar del Sara Sara.
12. Departamento de Arequipa. Todas las provincias.
13. Departamento de Moquegua. Todas las provincias.
14. Departamento de Tacna. Todas las provincias.

## ASPECTOS DEL PROCESO CONSTRUCTIVO

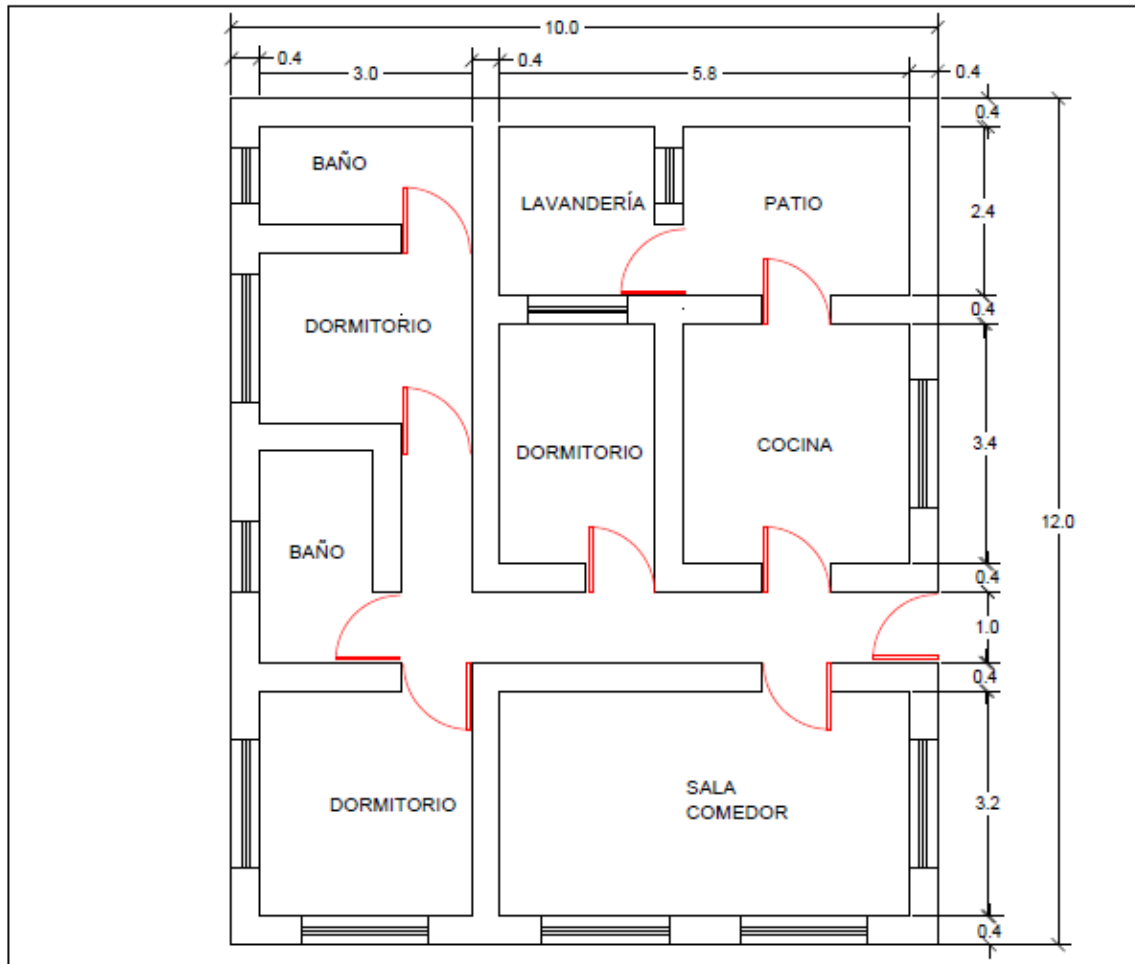


### Área del módulo básico de adobe

El módulo de vivienda incorpora la construcción de 9 ambientes (una sala-comedor, tres dormitorios, una cocina, un patio, una lavandería y dos baños), con un área útil neta techada de 112.32 m<sup>2</sup>.

### Cuadro de Áreas

Descripción	Área (m <sup>2</sup> )
Área neta techada	112.32 m <sup>2</sup>
Área sin techar	7.68 m <sup>2</sup>
Área construida	120 m <sup>2</sup>



#### Cimientos:

La cimentación tiene una dimensión de 0.40 m. de ancho y 0.60 m. de altura, construida con cemento ciclópeo.

#### Sobrecimientos:

El sobrecimiento, al cual se le inserta la malla, tiene una dimensión de 0.40 m. de ancho y 0.30 m. de altura y también es construido de cemento ciclópeo.

#### Muros:

Los muros son de 0.40 m. de espesor y 3.00 m. de altura. En su parte superior están coronados por una viga collar y son envueltos en su totalidad por la malla sobre la cual se incorpora un recubrimiento de tierra-arena (tarrajeo) de 2.5 cm. de espesor como máximo.

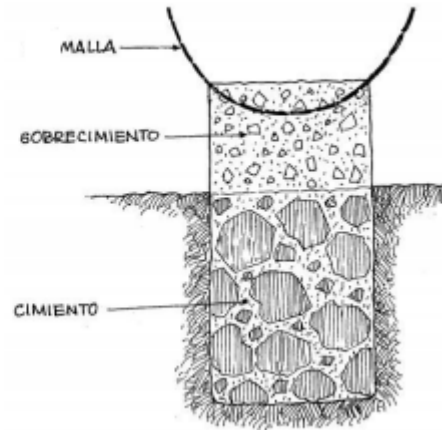
#### Pisos:

El módulo incorpora pisos de cemento pulido de 0.10 cm. de espesor.

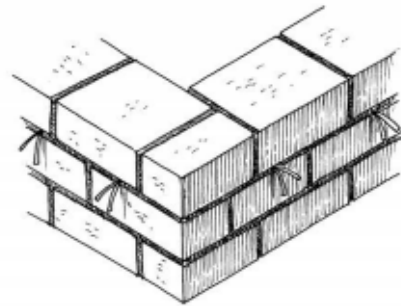
Techo:

La cubierta del módulo –usada típicamente en la zona rural de la costa- está conformada por vigas de caña guayaquil, sobre las cuales se coloca una cobertura de caña chancada, plástico, estera de totora y torta de barro de 3.0 cm. de espesor. En este estudio se considera un techo liviano hipotético sin peso específico.

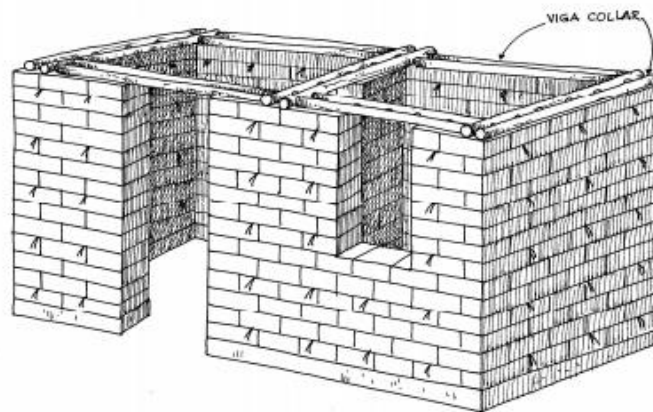
Los cimientos y sobrecimientos están hechos con una mezcla de cemento, hormigón y piedra para que sean más resistentes y durables.



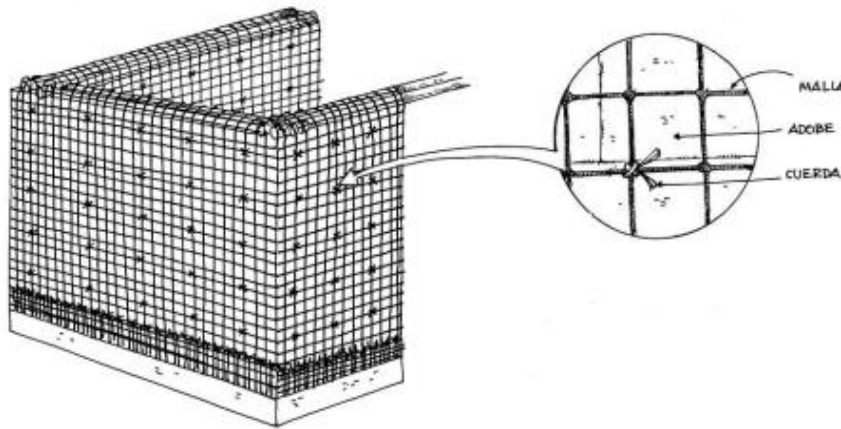
Las paredes están hechas con adobes cuadrados, anchos y resistentes. Los adobes están asentados de forma que haya buen amarre en las esquinas.



Sobre todas las paredes se coloca una viga collar hecha de troncos de eucalipto o caña Guayaquil. La viga collar amarra las paredes y permite que la casa resista bien los terremotos ya que las paredes trabajan juntas.



Las mallas se fijan a las paredes de la vivienda a través de cuerdas que se colocan durante la construcción de los muros. Las cuerdas pueden ser de rafia, cintas de agua (usadas en los regalos), soguillas de plástico o soguillas de nylon.



### **Sistema de sismorresistencia**

El sistema de sismorresistencia de una vivienda de adobe reforzado con malla incorpora una estructura de cimentación en concreto ciclópeo, construcción de muros de adobe, viga collar de caña guayaquil, refuerzo de muros con malla natural henequén y revestimiento de paredes con mortero de tierra-arena.

Fabricación de adobes: Las piezas de adobe tendrán dimensiones de 40x40x10 cm. para conformar los muros y de 40x20x10 cm. solamente para los casos de encuentros.

Cimentación: La cimentación será de concreto ciclópeo cemento:hormigón en proporción 1:12 con 50% de piedra grande, de dimensiones 0.40 m. de ancho y 0.60 m. de altura, como ya se expresó. Para suelos inestables o con nivel freático alto y por ende, con poca capacidad portante, se tendrá que efectuar un nuevo cálculo para determinar el tipo de cimentación adecuada.

Sobrecimiento: El sobrecimiento será de concreto ciclópeo cemento:hormigón en proporción 1:10 con 25% de piedra mediana, de dimensiones 0.40 m. de ancho y 0.30 m. de altura.

Muro de adobe: La construcción de los muros de adobe se realizará por medio de un mortero de unión de la misma calidad de la mezcla usada en la fabricación de los adobes. La resistencia de los muros dependerá de la calidad del mortero, más que de la del adobe. Las juntas del muro de adobe serán de 1 cm. tanto en forma horizontal como vertical y se dejarán cintas de rafia de 70 cm. de longitud, separadas cada 30 cm. en horizontal y cada 3 hiladas como máximo en vertical, con el fin de que sirvan como conectores para la fijación de la malla al muro.

Viga collar: Se colocará (opcionalmente) una viga collar de caña guayaquil de 3", cuya función es la de evitar que los muros se separen y como conexión entre muro y techo, lo



que brinda un reforzamiento integral a la estructura de la edificación. Esta viga corona todo el perímetro del muro de adobe, incluidos los vanos de puertas y ventanas.

**Reforzamiento con malla:** Consiste en el anclaje de una malla de agave henequén o malla natural en la cimentación de la estructura, que cubrirá ambas caras de los muros de adobe y se empalmará con un traslape en la viga collar superior. La malla será empotrada al sobrecimiento y adosada al muro en ambos sentidos a través de los pasadores de rafia o similar. Las mallas envuelven la totalidad de los muros portantes y no portantes abarcando los bordes de los vanos (puertas y ventanas). Este sistema es aplicable a construcciones existentes que cumplan con la Norma Técnica de Edificación E.080 ADOBE y sus anexos.

**Recubrimiento de muros:** Los muros con malla tendrán un recubrimiento de tierra y arena en proporción 1:1, con un tarrajeo de 2.5 cm. de espesor como máximo.

## **REFUERZO CON MALLA NATURAL**

**CONECTORES DE RAFIA:** Descripción El sistema de refuerzo planteado para la estructura de adobe está constituido por una cubierta de malla de polipropileno atada al muro por medio de hilos de rafia.

**Materiales:** La malla es parte de la familia de los agaves de la variedad henequén. Estas mallas tienen alta resistencia a la tracción, lo que garantiza su función a largo plazo. Para atar las mallas a los muros se usarán hilos de rafia cortados.

### Método de instalación

Durante el proceso de construcción del muro, se colocarán cada 3 hiladas en sentido vertical y cada 30 cm. en sentido horizontal, 4 cintas de rafia de 70 cm. de longitud, anudadas en su parte central para asegurar su fijación al muro. De esta manera se cuenta con un mínimo de 12 conectores por metro cuadrado. Los primeros conectores se ubicarán sobre la primera hilada del muro de adobe espaciados cada 30 cm. La malla será colocada en sentido vertical y pegada al muro, cubriendo un tramo no mayor a 7 m. de muro continuo. Será sujeta al muro con clavos y grampas y en su parte inferior fijada con la rafia, de manera que quede bien tensada y sin formar bolsones. Cabe anotar que la malla deberá estar traslapada totalmente con la malla que sale del sobrecimiento. Es preciso asegurar la posición correcta de la malla para su fijación definitiva, que consiste en cerrar todos los conectores de rafia mediante nudos dobles de tal manera que los puntos de fijación no se abran. Las mallas deberán estar embutidas en un tarrajeo de tierra arena. Este sistema es aplicable a construcciones existentes que cumplan con la Norma Técnica de Edificación E.080. El traslape de dos mallas en el sentido horizontal al igual que en el sentido vertical es de mínimo 15 cm. De esta manera se asegura que la conexión entre dos mallas sea de dos líneas paralelas de conectores. Las mallas envuelven la totalidad de los muros portantes y no portantes abarcando los bordes de los vanos (puertas y ventanas). La malla de henequén debe traspasar los vanos de un lado del muro al otro sin realizar cortes de la malla o traslapes. Se mediará por m<sup>2</sup> ejecutados. Para proceder con la medición es

pertinente verificar el correcto empleo del refuerzo por el encargado de obra antes de la aplicación de tarrajeo.

### Llenado del sobrecimiento

El sobrecimiento está hecho de concreto simple con piedras medianas de 4" (10 cm). Se construye de esta forma:

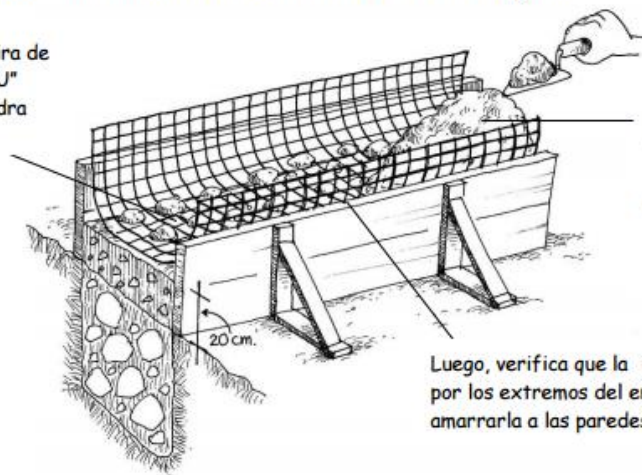
1. Coloca el rollo de malla en un piso plano y corta tiras de malla de un metro (1,00 m) de ancho, usando una tijera de jardín. Las tiras de malla serán colocadas en todo el largo del sobrecimiento durante el llenado.
2. Prepara la mezcla de concreto indicada en el cuadro. Llena el sobrecimiento hasta alcanzar 20 cm de altura.

#### Concreto para sobrecimientos

1 lata de cemento  
8 latas de hormigón  
25% de piedra mediana (4")  
1 lata de agua

3. Coloca las tiras de malla como se muestra en la figura.

Primero, coloca la tira de malla en forma de "U" y pon sobre ella piedra mediana.

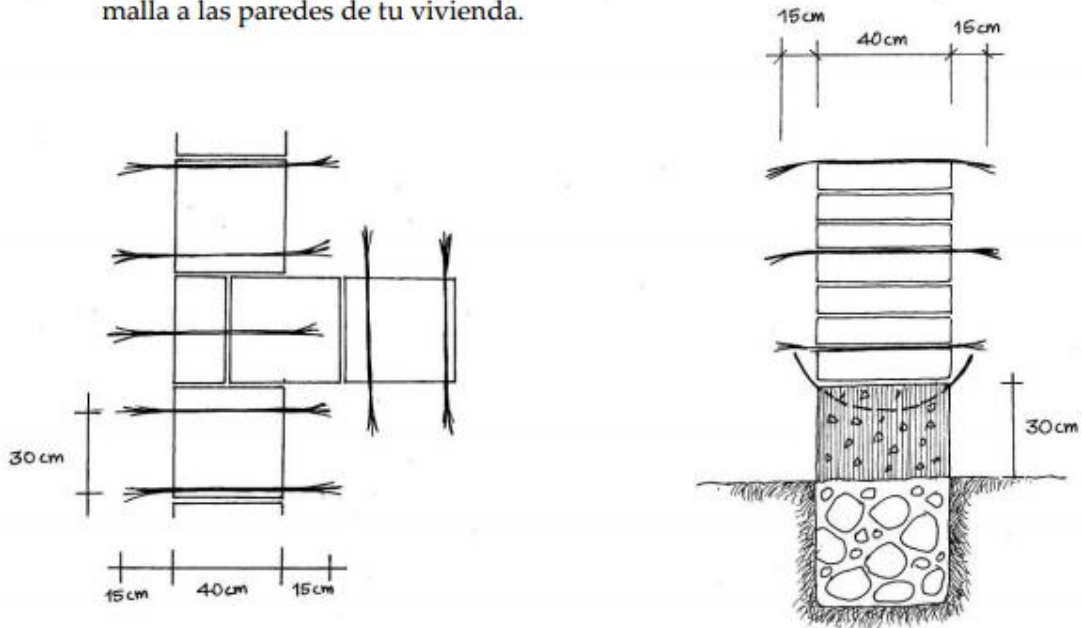


Finalmente, termina de vaciar el sobrecimiento hasta alcanzar 30 cm de altura. Cuida siempre que la malla esté bien colocada.

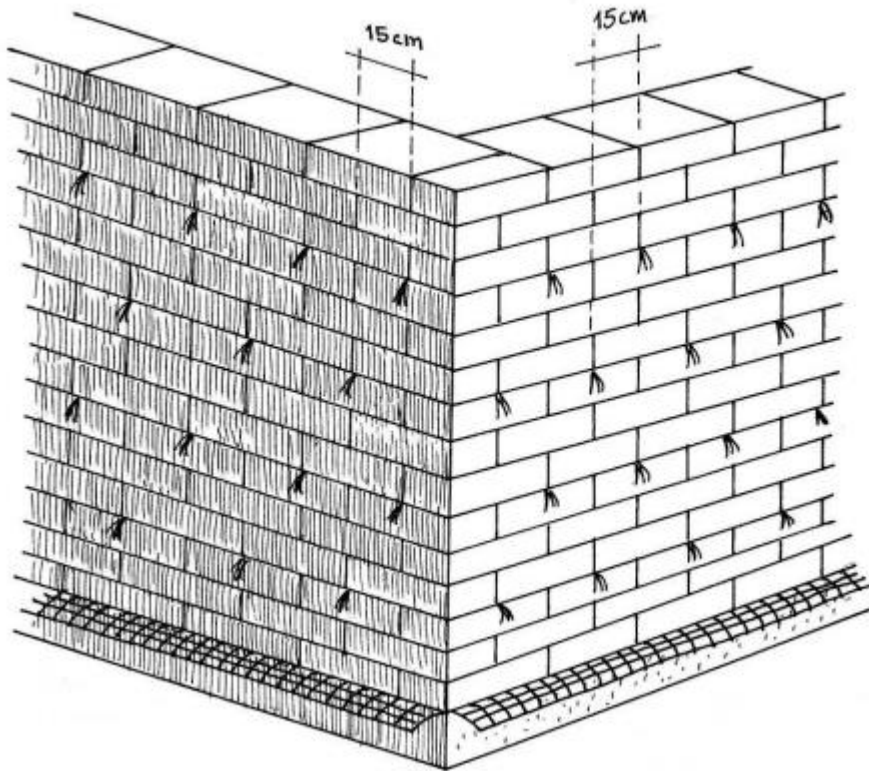
Luego, verifica que la malla sobresalga 20 cm por los extremos del encofrado para que puedas amarrarla a las paredes de adobe.

## En la construcción del muro

Sobre la primera hilada de adobes coloca un grupo de 4 cuerdas (rafia, cintas de agua, soguillas de plástico o soguillas de nylon). Las cuerdas deben tener 70 cm de longitud y deben sobresalir 15 cm a los costados del muro. Cada grupo de cuerdas debe estar espaciado 30 cm. Coloca las cuerdas cada 3 hiladas de adobe (es decir, sobre las hiladas 4, 7, 10, 13, 16 y 19). Las cuerdas servirán para fijar la malla a las paredes de tu vivienda.



Si se desea, se puede intercalar las cuerdas cada 15 cm entre hiladas. De esta manera quedará bien pegada al muro.



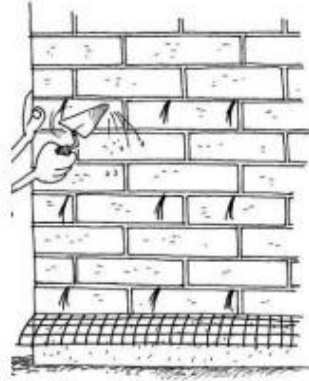
---

## COLOCACIÓN Y CORTE DE LA GEOMALLA

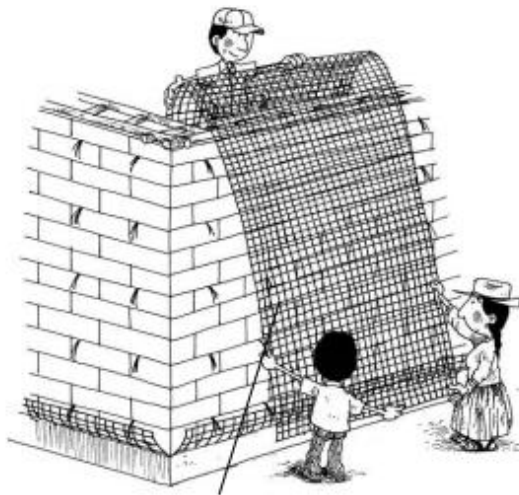
### **Colocación de las mallas en las paredes**

Para que las mallas funcionen bien, deben ser bien pegadas a las paredes de adobe. Existen dos formas de colocar las mallas en las paredes:

1. Limpiar con un badilejo la superficie de la pared y con una escobilla húmeda la malla embutida en el sobrecimiento para eliminar las protuberancias del barro seco.



2. Cortar y colocar la malla en las paredes. Puede hacerse de dos formas:

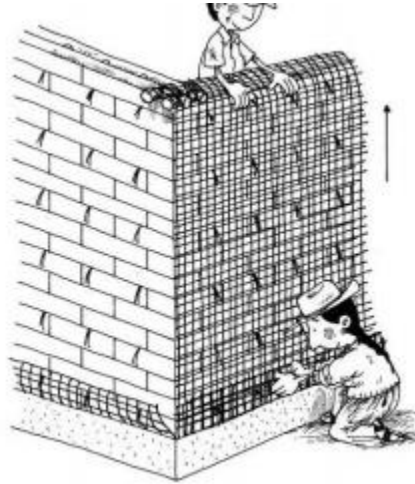


La malla envuelve la cara exterior e interior de una sola vuelta.



La malla se coloca en cada cara de la pared y se traslapa sobre la viga collar.

3. Fijar las mallas usando las cuerdas.

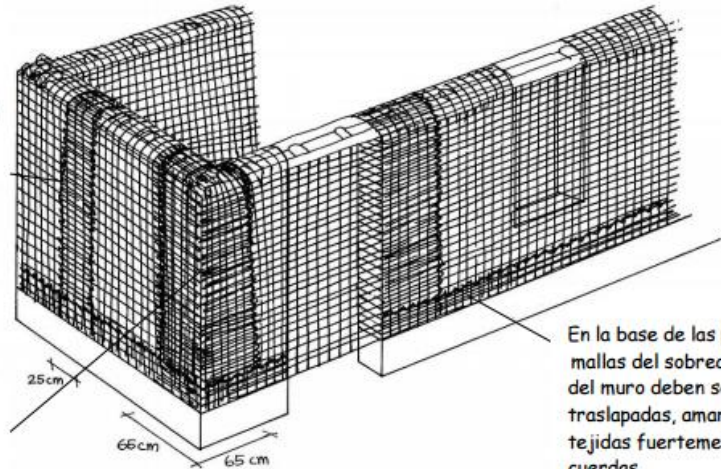


4. Tejer con las cuerdas todos los traslapes de las mallas.



5. Evitar la forma de colocar las mallas formando excesivos traslapes. Esto con el fin de permitir un fácil tarrajeo de la vivienda.

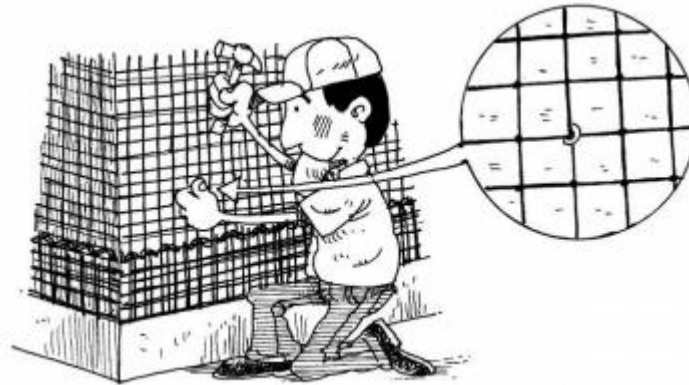
En las paredes, las mallas deben traslaparse por lo menos 25 cm una sobre otra. Los traslapes deben amarrarse y tejerse fuertemente con las cuerdas.



En las esquinas, las mallas deben traslaparse 65 cm una sobre otra. Los traslapes deben amarrarse y tejerse fuertemente con las cuerdas.

En la base de las paredes, las mallas del sobrecimiento y del muro deben ser traslapadas, amarradas y tejidas fuertemente con las cuerdas.

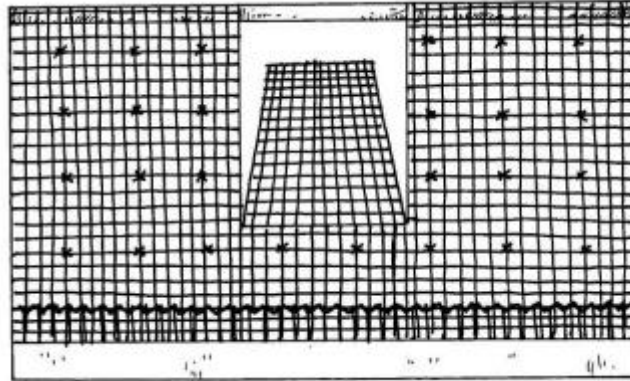
6. Fijar la malla con grapas de acero en los lugares donde la malla no esté pegado a la pared. No clavar la malla porque disminuirá su resistencia.



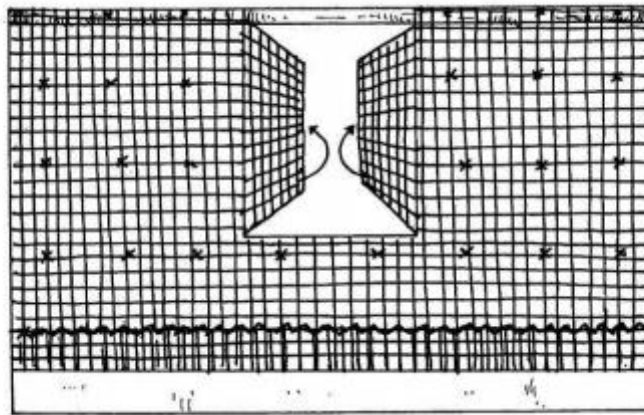
### **Corte de la malla en puertas y ventanas.**

Para abrir los vanos de puertas y ventanas, se deberán realizar los siguientes cortes:

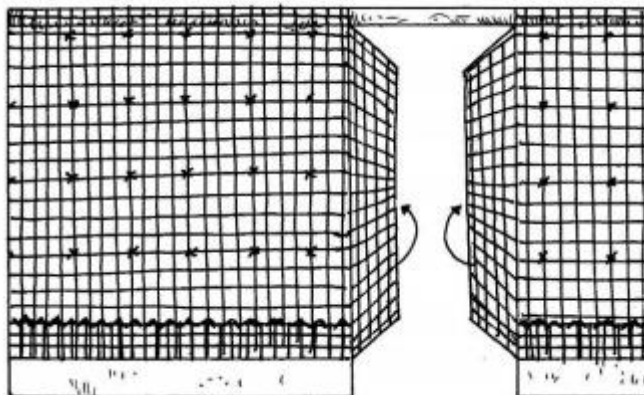
1. En la cara interior de la pared cortar la malla por los lados de la ventana y doblarla hacia abajo.



2. En la cara exterior cortar la malla por la mitad y doblarla a cada lado.



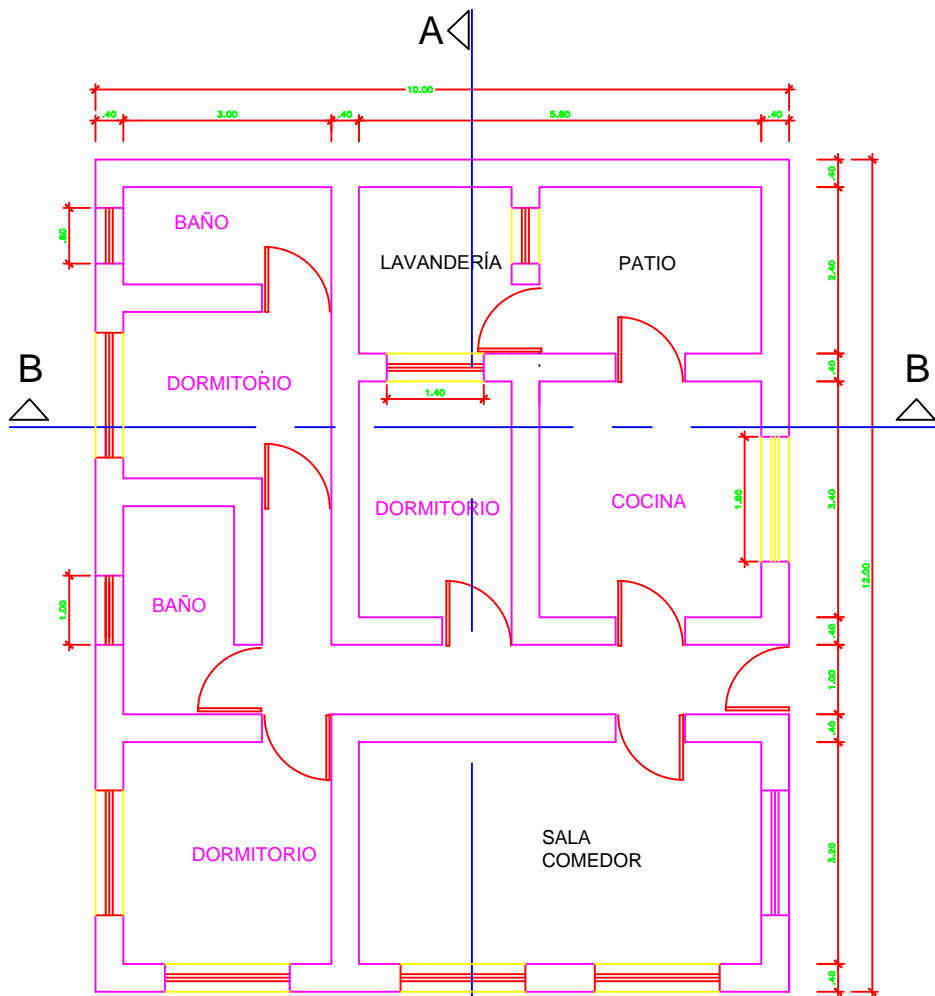
3. En las puertas, cortar la malla por la mitad y doblarla a cada lado. Hacer esto en la cara interior y exterior de la pared.



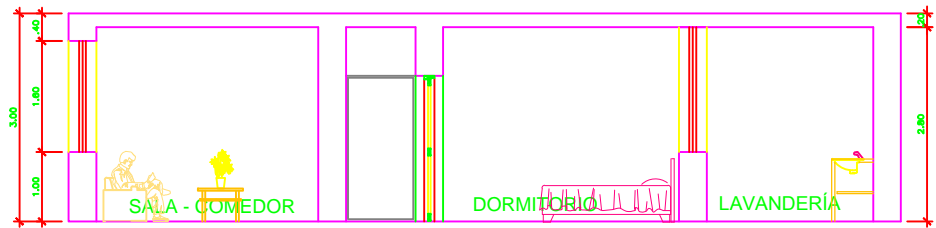
Luego de cortar y doblar la malla de las puertas y ventanas, tejerla fuertemente a la malla de los muros con las cuerdas.



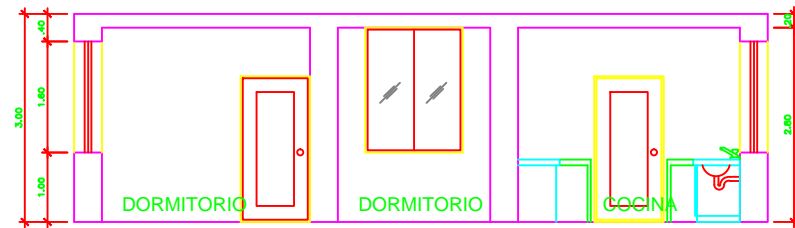




PLANTA 1° PISO



CORTE A-A



CORTE B-B

BACHILLER ROGER TORRES AGUERO		DPTO. ICA	LAMINA A-01
		PROV. ICA	
		POSTO. ICA	
ESPECIALIDAD INGENIERIA AGRICOLA	UBICACION ICA	PROYECTISTA-CAD	
PROYECTO ADOBÉ CON FIBRA NATURAL		ASESOR ING. CARLOS BRAVO	
		ESCALA 1 / 50	OCTUBRE - 2016