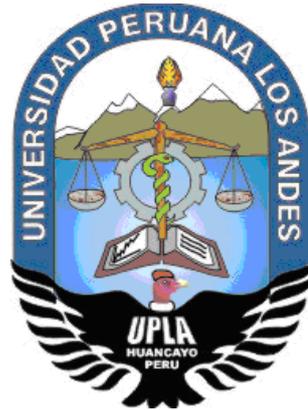


**UNIVERSIDAD PERUANA LOS ANDES**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**



**EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO SÍSMICO DE  
VIVIENDAS RURALES DE MATERIAL RÚSTICO CON  
REFORZAMIENTO ESTRUCTURAL DE MALLAS METÁLICAS**

**PRESENTADO POR:**

**Bach. Huamán Carbajal, Juan Pablo**

Línea de investigación: Nuevas Tecnologías y Procesos

Sub línea de investigación: Gestión de tecnología en procesos constructivos

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:**

**INGENIERO CIVIL**

**HUANCAYO – PERÚ**

**2018**

## **ASESORES**

---

**Ing. Alcides Luis Fabián Brañez**  
Asesor temático

---

**Mg. Pedro Hugo Balvin Ramos**  
Asesor metodológico

## HOJA DE CONFORMIDAD DE JURADOS

---

**Dr. Casio Aurelio Torres López**  
**DECANO**

---

**Ing. Rando Porras Olarte**  
**JURADO**

---

**Ing. María Luisa Mueras Gutiérrez**  
**JURADO**

---

**Ing. Carlos Alberto Jesús Sedano**  
**JURADO**

---

**Mg. Miguel Ángel Carlos Canales**  
**SECRETARIO DOCENTE**

# ÍNDICE

ASESORES .....	i
DEDICATORIA .....	¡Error! Marcador no definido.
AGRADECIMIENTOS .....	¡Error! Marcador no definido.
HOJA DE CONFORMIDAD DE JURADOS .....	ii
RESUMEN.....	viii
ABSTRACT.....	ix
INTRODUCCIÓN.....	x
CAPITULO I .....	1
EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN .....	1
1.1. Planteamiento del problema .....	1
1.2. Formulación y sistematización del problema.....	2
1.2.1. Problema general .....	2
1.2.2. Problema específico.....	2
1.3. Justificación .....	2
1.3.1. Practica o social .....	2
1.3.2. Metodológica.....	3
1.4. Delimitaciones .....	3
1.4.1. Espacial .....	3
1.4.2. Temporal.....	3
1.4.3. Económica .....	4
1.5. Limitaciones .....	4
1.6. Objetivos .....	4
1.6.1. Objetivo general .....	4
1.6.2. Objetivo específico .....	4
CAPITULO II: MARCO TEÓRICO .....	6
2.1. Antecedentes .....	6
2.2. Marco conceptual.....	10
2.3. Definición de términos.....	52
2.4. Hipótesis.....	58
2.4.1. Hipótesis General.....	58
2.4.2. Hipótesis Específica.....	58
2.5. Variables.....	58
2.5.1. Definición conceptual de la variable.....	58
2.5.2. Definición operacional de la variable.....	59

2.5.3. Operacionalización de los variables .....	60
<b>CAPITULO III: METODOLOGÍA.....</b>	<b>61</b>
3.1. Método de investigación .....	61
3.2. Tipo de investigación .....	61
3.3. Nivel de la investigación.....	61
3.4. Diseño de investigación .....	61
3.5. Población y muestra.....	62
3.6. Técnicas e instrumentos de recolección de datos .....	62
3.7. Procesamiento de la información .....	64
3.8. Técnicas y análisis de datos .....	86
<b>CAPITULO IV: RESULTADOS .....</b>	<b>88</b>
<b>CAPITULO V: DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....</b>	<b>98</b>
<b>CONCLUSIONES .....</b>	<b>103</b>
<b>RECOMENDACIONES .....</b>	<b>104</b>
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>105</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>107</b>
<b>PANEL FOTOGRÁFICO.....</b>	<b>113</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura N° 1 Composicion de los materiles rusticos .....	12
Figura N° 2 Gaveras para la elaboracion de adobes.....	14
Figura N° 3 Molde de adobe recomendado .....	16
Figura N° 4 Mapa de zonificacion sísmica .....	17
Figura N° 5 Modelos de encofrados con y sin guia .....	20
Figura N° 6 Temperatura de una construcción de tapia .....	21
Figura N° 7 Encofrados para tapia .....	23
Figura N° 8 Vivienda rural tipo A.....	25
Figura N° 9 Estabilización por forma.....	26
Figura N° 10 Estabilización con refuerzos internos .....	27
Figura N° 11 Construcciones con bloques de tierra machiembrada.....	28
Figura N° 12 Fallas geologicas en Perú .....	30
Figura N° 13 Epicentro e hipocentro de un sismo.....	31
Figura N° 14 Distribucion de los terremotos y su intensidad.....	32
Figura N° 15 Ondas sísmicas.....	37
Figura N° 16 Movimiento armónico .....	38
Figura N° 17 Ubicaciones seguras para viviendas .....	43
Figura N° 18 Ensayos con dos formas de planta.....	44
Figura N° 19 Dimensiones del hexápodo electromecánico.....	63
Figura N° 20 Mapa del Perú con alturas en m.s.n.m.....	65
Figura N° 21 Selección de material para la elaboracion de especímenes.....	66
Figura N° 22 Bloques y encofrado elaborados .....	67
Figura N° 23 Cimentación de los especímenes .....	68
Figura N° 24 Proceso constructivo de los especímenes de tapial .....	69
Figura N° 25 Proceso constructivo de los especimenes de adobe .....	70
Figura N° 26 Especimenes reforzados .....	70
Figura N° 27 Datos de las funciones del primer ensayo .....	73
Figura N° 28 Componentes X, Y del primer ensayo.....	73
Figura N° 29 Componente Z del primer ensayo.....	74
Figura N° 30 Datos de las funciones del segundo ensayo .....	75
Figura N° 31 Componente X del segundo ensayo.....	76
Figura N° 32 Componente Y del segundo ensayo.....	77
Figura N° 33 Componente Z del segundo ensayo.....	78

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla N° 1 Escala modificada de Mercalli.....	33
Tabla N° 2 Magnitud, energía e incidencia de los sismos .....	34
Tabla N° 3 Zonificación sísmica de la región Junín .....	45
Tabla N° 4 Especificaciones del hexápodo electromecánico.....	63
Tabla N° 5 Procesos constructivos de los especímenes .....	89
Tabla N° 6 Fallas estructurales durante el primer ensayo.....	91
Tabla N° 7 Fallas estructurales durante el segundo ensayo.....	92

## ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro N° 1 Aceleración máxima del primer ensayo .....	79
Cuadro N° 2 Aceleración máxima del segundo ensayo .....	80
Cuadro N° 3 Masa de los especímenes.....	81
Cuadro N° 4 Cortante basal – Primer ensayo.....	82
Cuadro N° 5 Cortante basal – Segundo ensayo .....	82
Cuadro N° 6 Coeficiente sísmico – Primer ensayo .....	83
Cuadro N° 7 Coeficiente sísmico – Segundo ensayo .....	83
Cuadro N° 8 Rigidez de los especímenes de adobe .....	85
Cuadro N° 9 Rigidez de los especímenes de tapial.....	85
Cuadro N° 10 Frecuencia natural del espécimen A T .....	85
Cuadro N° 11 Frecuencia natural del espécimen A R.....	86
Cuadro N° 12 Frecuencia natural del espécimen T T .....	86
Cuadro N° 13 Frecuencia natural del espécimen T R.....	86
Cuadro N° 14 Variación de la cortante en especímenes de adobe .....	94
Cuadro N° 15 Variación de la cortante en especímenes de tapia.....	94
Cuadro N° 16 Variación de la cortante entre ensayos – Especímen A T.....	94
Cuadro N° 17 Variación de la cortante entre ensayos – Especímen A R .....	95
Cuadro N° 18 Variación de la cortante entre ensayos – Especímen T T .....	95
Cuadro N° 19 Variación de la cortante entre ensayos – Especímen T R.....	95

## RESUMEN

En la presente investigación se plantea como problema general, ¿Qué efecto tiene el refuerzo estructural de mallas metálicas en el comportamiento sísmico de viviendas rurales de material rustico?, teniendo como objetivo general, “Evaluar el comportamiento sísmico de viviendas rurales de material rustico reforzadas con mallas metálicas, la hipótesis que se debe de verificar es, “Las viviendas rurales de material rustico con refuerzo estructural de mallas metálicas tienen un mejor comportamiento sísmico que las estructuras sin refuerzo”.

El método de investigación es el científico, el tipo de investigación es aplicada, el nivel es correlacional y el diseño experimental con estudio únicamente post-prueba. La población son las viviendas de material rustico en zonas rurales andinas de la región Junín y el tipo de muestreo es no aleatorio o dirigido y lo conforman las viviendas de adobe y tapia que representan aproximadamente el 72.5% del total de viviendas del centro poblado de Aza Cruz del distrito de Cullhuas de la provincia de Huancayo compuestas por módulos de un área no mayor a 25 m<sup>2</sup>.

Se concluye que el refuerzo estructural de mallas metálicas mejora el comportamiento sísmico de las viviendas rurales de material rustico basados en la filosofía y principios del diseño sismoresistente.

Palabras clave: Vivienda rural, comportamiento sísmico, refuerzo estructural, mallas metálicas.

## **ABSTRACT**

In the present investigation, the general problem is. What is the effect of the structural reinforcement of metal meshes in the seismic behavior of rural dwellings of rustic material?, having as a general objective, "To evaluate the seismic behavior of rural dwellings of rustic material reinforced with metallic meshes, the hypothesis that must be verified is, "The rural houses of rustic material with structural reinforcement of metal meshes have a better seismic behavior than the structures without reinforcement".

The method of research the scientist, the type of research is applied, with a mixed approach, the level of research is correlational and the research design is experimental with only post-test study. The population is the dwellings of rustic material in rural Andean areas of the Junín region and the type of sampling is not random or directed and it is made up of adobe and mud houses wich represents the 72.5% of all houses in the town of Aza Cruz in the district of Cullhuas of the province of Huancayo Composed by modules of an area no larger than 25 m<sup>2</sup>.

It is concluded that the structural reinforcement of metal meshes improves the seismic behavior of rural dwellings of rustic material based on the philosophy and principles of seismoresistant design.

Key Words: Rural house, earthquake behavior, structural reinforcement, steel web.

## INTRODUCCIÓN

La tesis titulada “EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO SÍSMICO DE VIVIENDAS RURALES DE MATERIAL RÚSTICO CON REFORZAMIENTO ESTRUCTURAL DE MALLAS METÁLICAS” cuyo objetivo es evaluar los efectos de un refuerzo estructural de mallas metálicas en el comportamiento sísmicos de viviendas rurales de material rustico, además de especificar el proceso de la instalación del sistema de refuerzo.

Los resultados obtenidos luego de los ensayos de simulación sísmica, permiten observar la eficacia del sistema de refuerzo y sus diferencias con una construcción tradicional, el proceso de investigación consta de 5 capítulos.

En el capítulo I se describe la problemática encontrada y se delimita la investigación para trazar objetivos que tengan un sustento adecuado.

En el capítulo II. Los antecedentes, fundamentos teóricos, así como las hipótesis planteadas, y sus variables son desarrollados y explicados.

En el capítulo III se tipifica la investigación describiendo la metodología a seguir, la población estudiada y presentando los instrumentos para la recolección y análisis de datos, se describe también el proceso de la investigación.

En el capítulo IV se presentan resultados obtenidos según cada objetivo de la investigación, para lograr un resultado general.

En el capítulo V se discuten los resultados con los antecedentes, los anexos brindaran información importante sobre la investigación.

Finalmente se presenta las conclusiones, recomendaciones, referencias bibliográficas y los anexos de la investigación.

Huamán Carbajal Juan Pablo

Tesista

# **CAPITULO I**

## **EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN**

### **1.1. Planteamiento del problema**

Las construcciones se empezaron a realizar en el mundo con materiales obtenidos del suelo, estas constituían las primeras innovaciones en el uso de materiales. El empleo de bloques de tierra compacta para las construcciones fue mejorando con el tiempo hasta llegar a los materiales usados hoy en día. Sin embargo, en las zonas rurales aún se emplea bloques de tierra en forma de adobes o tapiales.

El Perú es un país donde el 24.1% de la población vive en zonas rurales, un 44% de la población rural se ve afectado por la pobreza con estos datos se refleja la realidad de muchas comunidades campesinas que se encuentran en extrema pobreza. En la región Junín al año 2016 la población rural representa un 34%. En las zonas rurales andinas las comunidades tienen viviendas construidas con: material rustico que se define como bloques de tierra sin cocer. Las construcciones son hechas sin conocimiento técnico ni consideraciones sobre el comportamiento durante eventos sísmicos.

En la región Junín existen muchas comunidades campesinas distribuidas por las zonas rurales que utilizan casi exclusivamente este tipo de construcciones, pero sin conocimiento técnico ni consideraciones sus viviendas son propensas a sufrir desplomes y daños durante los eventos sísmicos además de presentar una serie de problemas como la erosión de los muros o cimientos, fallas estructurales por la falta de cimientos y demás.

Durante un evento sísmico estas viviendas ponen en riesgo la vida de los ocupantes además de quedar en un estado de inhabitabilidad por las fallas estructurales que se pueden manifestar todo esto ocasionado por las construcciones que no son hechas de una manera adecuada. La causa de estas construcciones es la falta de capacitación, así como la difusión de técnicas de construcción más segura, también el desconocimiento de los efectos de la erosión o las fallas estructurales en la seguridad de las viviendas y de sus habitantes.

El estado a través de programas ejecuta programas de acondicionamiento de viviendas o capacitaciones sobre construcción, pero en muchos casos estos programas no son idóneos a la realidad de las poblaciones debido al alto costo o la complejidad de la ejecución por lo que muchas veces solamente algunas cuantas viviendas son seguras mientras el resto aún son vulnerables.

Por lo tanto, es necesario e imprescindible que las viviendas por construir, así como las existentes tengan algún refuerzo ante eventos sísmicos que sea versátil y económico, pero sobre todo efectivo para que pueda ser aplicado por los mismos pobladores sin la necesidad de asistencia técnica, así como concientización sobre la seguridad de las construcciones.

## **1.2. Formulación y sistematización del problema**

### **1.2.1. Problema general**

¿Qué efecto tiene el refuerzo estructural de mallas metálicas en el comportamiento sísmico de viviendas rurales de material rustico?

### **1.2.2. Problema específico**

- a) ¿Qué efecto tiene el refuerzo estructural de mallas metálicas en el proceso constructivo de viviendas rurales de material rustico?
- b) ¿Cuáles son las fallas estructurales que se presentan en las viviendas rurales de material rustico a causa de eventos sísmicos?
- c) ¿Qué diferencia existe entre en el comportamiento sísmico de viviendas rurales de material rustico cuando se incorpora un refuerzo estructural de mallas metálicas?

## **1.3. Justificación**

### **1.3.1. Practica o social**

Las técnicas para la construcción o acondicionamiento de viviendas de material rustico es importante a la vez que necesario, sin embrago, el reforzamiento estructural, así como el procedimiento constructivo que se recomienda no se ajustan a la realidad de para todas las poblaciones.

En las comunidades más pobres de la zona andina es difícil hacer una construcción como se recomienda en las normativas o conseguir asistencia técnica, esto no debe de significar que no puedan contar con una vivienda segura por lo que es necesario implementar y verificar técnicas de reforzamiento que sean versátiles e idóneas para todas las poblaciones. Estas técnicas deben de ser implementadas y difundidas para que su alcance sea mayor.

La prevención de riesgos por sismos se actualiza constantemente, para el caso de las construcciones rústicas en zonas rurales se puede innovar sistemas de refuerzo o técnicas de procesos constructivos que proporcionen un mejor comportamiento sísmico a las estructuras. Asegurar la posibilidad de replicar los sistemas de refuerzo, así como las mejoras del proceso constructivo es necesario e imprescindible, para lo cual se debe de hacer una correcta evaluación técnica, económica y práctica.

### **1.3.2. Metodológica**

Los sistemas de refuerzo son dados a conocer y ejecutados por programas asistenciales de diversas entidades, sin embargo, no llegan a la totalidad de la población y es difícil que estas tecnologías sean replicadas nuevamente por la población restante debido a factores como: falta de asistencia técnica, limitaciones económicas, desconocimiento de materiales o inaccesibilidad a los mismos.

## **1.4. Delimitaciones**

### **1.4.1. Espacial**

La investigación se realiza en la ciudad de Huancayo, replicando las condiciones de las zonas altoandinas de la región Junín.

### **1.4.2. Temporal**

La investigación se realiza en el año 2018.

### **1.4.3. Económica**

Para la investigación se realizaron especímenes que representan las viviendas a estudiar. Los gastos que supondría realizar modelos a tamaño real en la ciudad de Lima, puesto que en la ciudad de Huancayo no existe el equipamiento necesario para realizar ensayos de tamaño real, delimitan la investigación pues la presente es autofinanciada.

### **1.5. Limitaciones**

- La elaboración artesanal y diversa de los materiales rústicos hace difícil la selección de una muestra ideal.
- Los equipos disponibles condicionan la elaboración de los modelos a ensayar.
- El hexápodo vibratorio no funciona plenamente y algunos componentes no funcionan.
- Los costos que implicarían realizar modelos a escala real no pueden ser asumidos puesto que la tesis es autofinanciada.

### **1.6. Objetivos**

#### **1.6.1. Objetivo general**

Evaluar el comportamiento sísmico de viviendas rurales de material rustico reforzadas con mallas metálicas.

#### **1.6.2. Objetivo específico**

- a) Identificar las diferencias entre el proceso constructivo tradicional y el proceso constructivo con refuerzo estructural de mallas metálicas.
- b) Identificar las fallas estructurales ocasionadas por eventos sísmicos en viviendas rurales de material rustico construidas tradicionalmente.

- c)** Demostrar la diferencia entre los comportamientos sísmicos de viviendas rurales de material rustico con y sin refuerzo estructural de mallas metálicas.

## **CAPITULO II MARCO TEÓRICO**

### **2.1. Antecedentes**

#### **a) Internacionales**

- Tesis, Análisis del comportamiento de muros de adobe reforzados con geomalla ante esfuerzos cíclicos laterales. (Astorga, 2011) en su investigación realizada sostiene que.

En las construcciones con adobe es difícil de predecir el comportamiento ante esfuerzos cíclicos, sin embargo, si se observa un mismo patrón de fallas y deficiencias en los muros, estas fallas mejoran al recubrir con geomalla la albañilería.

De los ensayos realizados se entiende que no se puede analizar el comportamiento frente a esfuerzos cortantes separándolo de la respuesta frente a comportamientos de flexión puesto que los efectos de estos aparecen simultáneamente aun así solo se apliquen esfuerzos de un solo tipo.

Las leyes obtenidas durante la investigación no representan los resultados esperados esto debido a la gran cantidad de factores que intervienen en el comportamiento de los muros, sin embargo, los resultados si son útiles para evaluar el comportamiento de los muros cualitativamente.

Durante los ensayos de carga cíclica se produce deterioros en los muros lo que genera la pérdida de la capacidad portante, sin embargo, la fricción entre los materiales aumenta la rigidez de la estructura.

Para tratar de entender el comportamiento de la estructura se le trata como un material homogéneo, la dificultad encontrada es la diversidad en la elaboración de los materiales, así como la imposibilidad de representar modelos fieles a la realidad de todas las construcciones.

Para obtener las simulaciones del comportamiento de los muros es necesario recordar que este tipo de muro se forma de varios tipos de

materiales con sus propias características y que no pueden ser integradas para conformar un solo material que reproduzca ensayos globales.

Es así que llega a la conclusión de que la evaluación cuantitativa del comportamiento y estado de las estructuras de adobe es imposible.

- Manual, Manual de construcción para viviendas antisísmicas de tierra (Minke, 2001), en su investigación el autor aborda la preocupación por la construcción de viviendas de material rustico que sean resistentes en casos de eventos sísmicos.

Los sismos son eventos producidos por el movimiento de capas tectónicas o por actividades volcánicas, debido a la distribución de las placas tectónicas existen zonas especialmente propensas a sufrir eventos sísmicos de alta intensidad según las escalas de Richter, mientras que las consecuencias se pueden medir según la escala de Mercalli.

Las viviendas de material rustico pueden ser de 4 tipos según esta investigación. En primer lugar, las viviendas de tierra apisonada o conocidas comúnmente como tapias que consta de un encofrado de los tablones paralelos unidos por travesaños que dejan vacíos a la hora de retirar el encofrado, en esta parte se dan lineamientos desde un adecuado encofrado continuo o encofrado *trepador* hasta el diseño de esquinas que no deben de ser perpendiculares si no angulares creando así una mejor resistencia a impactos horizontales, indica también algunos refuerzos que se pueden colocar al momento de la construcción necesitando estos de ayuda técnica para su instalación. Las construcciones de adobe son abordadas desde un punto de vista más técnico en esta investigación sugiriendo refuerzos al momento de la construcción, así como el empleo de bloques machihembrados para eliminar la necesidad del mortero y solamente ensamblar los muros. Finalmente menciona dos tipos materiales no tan conocidos en zonas

alto andinas como son muros de elementos textiles rellenos de tierra y muros de bahareque (quincha).

Para finalizar detalla el proceso de instalación de puertas, ventanas, tímpanos en techos y demás elementos para finalizar la vivienda además de algunos elementos ornamentales.

- Tesis, Adobe, características y sus principales usos en la construcción (De La Peña, 1997), su investigación es amplia y detallada sobre el uso del adobe para construcciones.

La selección del marial con el cual se va a elaborar las construcciones es muy importante debido a que esta debe de cumplir especificando que un adobe adecuadamente elaborado presenta una composición de arcillas, limos y arenas; así mismo un tapial o muro de tierra compactada tiene una composición similar de materiales, pero distinta en proporciones, en la investigación sin embargo no da lineamientos sobre el proceso de elaboración de estos componentes.

Al ser materiales hechos con procesos no estandarizados, es muy difícil determinar la calidad de estos por lo que presentan diversos tipos de prueba sensoriales para determinar la calidad de los elementos de construcción estas pruebas pueden ser desarrolladas in situ ya que no requieren de equipamiento ni guía técnica, recomienda la elaboración de bloques de tierra apisonada para un mejor funcionamiento además de ladrillos extruidos.

Parte de la investigación se centra en la protección de los muros ante la humedad de precipitaciones, esto mediante un correcto dimensionamiento de techos y cubiertas que forman un sistema de drenaje para proteger los muros.

Las causas de deterioro del adobe pueden ser variadas y múltiples: agua, sol, viento, sales solubles, todas estas pueden ser prevenibles y en el peor de los casos pueden ser reparadas pero el deterioro por eventos sísmicos sin un sistema de refuerzo es imposible de prevenir o reparar. El uso del adobe es en su mayoría para zonas que cuentan con

una población rural ampliamente dispersa sin dejar de ser útil para en reparaciones o construcciones de ambientes recreacionales o similares.

## **b) Locales**

- Tesis, Propuesta de reconstrucción post-terremoto de viviendas de adobe reforzado (Rubiños, 2009), en su investigación analiza los efectos que ocasionó el sismo de Ica del año 2007 sobre las viviendas de adobe.

En el Perú la gran mayoría de viviendas de material rustico son construidas sin asistencia técnica haciéndolas más vulnerables a eventos sísmicos, sin embargo, muchas personas siguen autoconstruyendo debido a que esta tecnología es simple y no requiere grandes recursos económicos.

La propuesta desarrollada en esta investigación se pudo aplicar a través de programas de capacitación en zonas del sur del Perú que fue afectada durante el sismo de 2007. Así mismo gracias a las enseñanzas de este programa se pudo plantear una propuesta sistematizada para la reconstrucción de viviendas después de eventos sísmicos.

El material usado en este proyecto fue una malla sintética que se acoplaba a la estructura para reforzar las viviendas.

- Tesis, Comportamiento sísmico del adobe confinado. Variable: refuerzo horizontal (Torres, 2012), Analiza en sus investigación el comportamiento sísmico de un muro de adobe con una variante de refuerzo horizontal.

El refuerzo horizontal fue adecuado y colocado en un muro a escala con dos objetivos fundamentales: mejorar la resistencia al corte y la ductilidad de los muros además de hacer que el muro tenga un comportamiento de una sola unidad durante los ensayos.

Además de observar y analizar los resultados de los ensayos se realizó pruebas de: Alabeo, resistencia a la compresión ( $f'_b$ ), resistencia a la compresión de la albañilería y resistencia a la tracción a los refuerzos de acero ( $f'_y$ ).

Después de realizados todos los ensayos se expresó en forma gráfica y se analizó los objetivos trazados previamente.

- Tesis, Propuesta de método de diseño para reforzamiento sísmico de muros de adobe con malla de cuerdas (Sarmiento, 2016), en su investigación analiza un modelo de una estructura a escala y predice el comportamiento sísmico tanto numéricamente como en un ensayo con una mesa vibratoria.

Después de realizados los ensayos y las simulaciones numéricas se obtuvo resultados similares por lo que se predijo las zonas de fallas en los muros sean estas grietas o separación de bloques de adobe, para poder así diseñar un sistema de refuerzo con cuerdas en estas zonas afectadas para posteriormente se analizó los nuevos resultados de un ensayo de mesa vibratoria.

## **2.2. Marco conceptual**

- **Marco Normativo**

El estado peruano a través del Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento regula y norma la construcción con material rustico. La norma técnica E. 080 Diseño y Construcción con Tierra Reforzada publicada en el año 2017.

En esta versión actualizada de la norma trata dos tipos de sistemas constructivos la albañilería con bloques de adobe y la construcción mediante la técnica de tapial. A diferencia de la versión anterior que tenía muchas deficiencias y no estaba completa.

La norma ahora menciona ensayos y esfuerzos admisibles para bloques de adobe o tapia, también los esfuerzos admisibles que deben de ser calculados. Una nueva sección es la de obras patrimoniales de tierra.

Se hace una clasificación de edificaciones para hacer el diseño de las mismas dependiendo de la importancia y su uso.

En este punto se observa el intento de hacer de la construcción con tierra un proceso de calidad, pero, al igual que ocurre con las auto-construcciones de viviendas en zonas urbanas, estas especificaciones, ensayos y algunos requerimientos extras no pueden ser cumplidos; más aun teniendo en cuenta que la diferencia de poder adquisitivo es inmensa cuando se trata de zonas rurales.

Así mismo existe la norma técnica E. 030 Diseño Sismoresistente modificada el año 2016.

En esta norma se explica todo lo concerniente a diseño sismoresistente, sin embargo, estos diseños y parámetros son para construcciones de concreto y acero. Un pequeño pedazo de la norma que corresponde a la filosofía y principios pueden ser usados en la construcción con tierra.

Parte de la norma técnica E. 030 es usada en la E. 080 para empezar a hacer el diseño de las edificaciones, sin embargo, es necesario consultar las dos normas técnicas para lograr un buen trabajo en las edificaciones de material rustico.

- **Material rustico**

El material de construcción denominado adobe, barro seco, tierra apisonada, tapial o tapia con paja, es conocido y usado hace miles de años. (De La Peña, 1997) p. 14

Empleado desde hace miles de año la construcción con este material está presente en aproximadamente la mitad del planeta, siendo dejado de lado gradualmente en Europa, la construcción con estos materiales en países en vías de desarrollo es utilizada junto con la explosión demográfica.

Son materiales hechos con tierra no cocida, empleados usualmente en la construcción de viviendas y en la antigüedad ciudades enteras hechas de este material persisten hasta hoy y con un cuidado adecuado seguirán existiendo.

Para los países en vías de desarrollo el uso de estos materiales representa una ventaja económica pues son hechos a mano con material exclusivamente local. Para una construcción de mayor importancia la inversión en equipo industrial si se llegase a requerir es mínima.

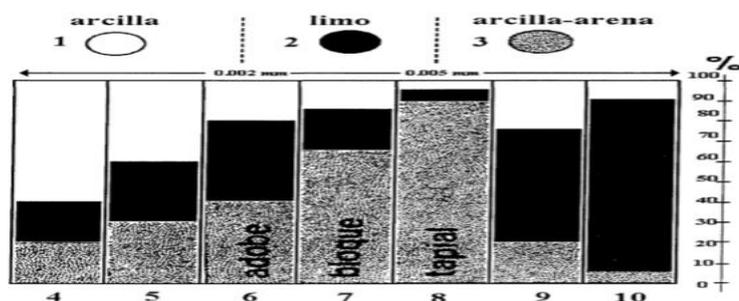
En los países desarrollados el uso de estos materiales se destina a ambientes recreativos con temas folclóricos teniendo la ventaja que podrían ser estandarizados y producidos de forma que se eliminen las diferencias que ocasiona a raíz de la diversidad que existe en los países en vías de desarrollo.

La construcción de este tipo es buena si se piensa en futuro ya que no produce la contaminación que se deriva de la producción de otros materiales y el material utilizado puede volver a ser empleado en remodelaciones u otras construcciones. Los materiales con los que se puede construir son aquellos que se encuentran debajo de la capa orgánica del suelo hasta la roca madre.

La composición de este horizonte del suelo contiene gravas, arenas gruesas, arenas, limos, arcillas. Estos componentes sirven para la elaboración de los materiales rústicos, sin embargo, dependiendo de qué tipo de material es con el que se planea construir la proporción de los materiales debería de variar para obtener un material adecuado.

**Figura N° 1**

**Composición de los materiales rústicos**



**FUENTE (De La Peña, 1997) Adobe, características y sus principales usos en la construcción (p. 26)**

Según (Ministerio de vivienda, construcción y saneamiento, 2017) p. 5. La tierra es el material de construcción compuesto de cuatro componentes básicos: arcilla, limo, arena fina y arena gruesa.

El material a utilizar en la construcción debe de tener una cantidad adecuada de arcilla y encontrarse libre de materia orgánica, el agua a utilizar debe de ser potable sin presencia de materia orgánica, sales o sólidos. Estas características son las necesarias para asegurar la estabilidad de los bloques a emplear en la construcción.

- **Adobe**

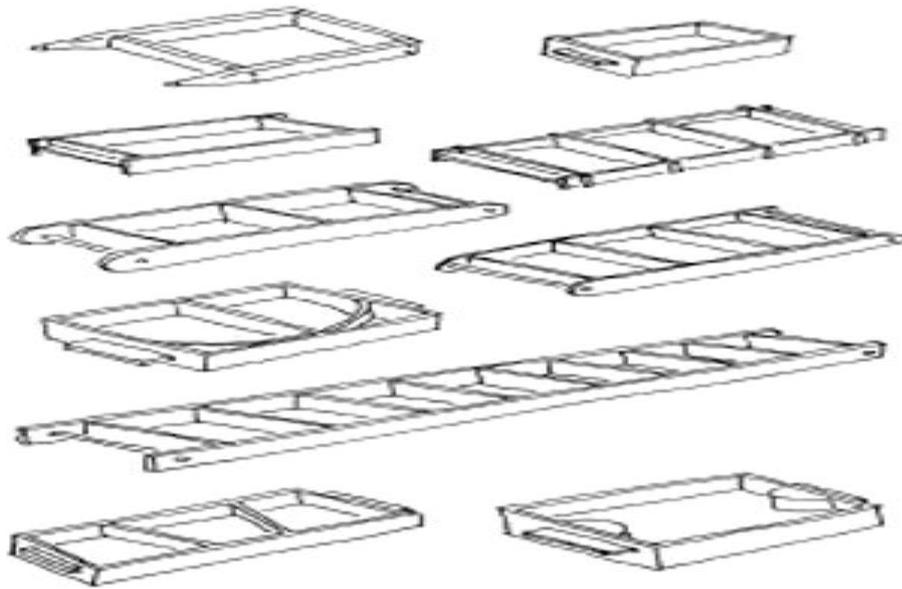
Los bloques de barro producidos a mano rellenando barro en moldes y secados al aire libre se denominan adobes. (Minke, 2001) p. 22.

Dependiendo del tamaño de los bloques y del método usado para la elaboración existen: bloques de suelo, ladrillos crudos y los bloques compactados denominados también adobones. En el Perú y también en Latinoamérica los adobes se fabrican de diversos tamaños teniendo por lo general una base cuadrada y una altura de  $\frac{1}{3}$  de los lados de la base.

Los adobes son bloques elaborados artesanalmente y a diferencia de los ladrillos no tienen medidas estándar siendo estas variables en diferentes partes del mundo. En el Perú, según recomendación del Ministerio de vivienda construcción y saneamiento, las medidas del molde de adobe deben de ser de 40 x 40 x 8 cm. Sin embargo, estas medidas suelen cambiar siendo de un ancho y largo de 30 cm; y una altura de 10 cm.

## Figura N° 2

### Gaveras para la elaboración de bloques de adobe



**FUENTE (Minke, 2001) Manual de construcción para viviendas antisísmicas de tierra (p. 22)**

Según (De La Peña, 1997) p. 22. El adobe es una palabra con varios significados, el primero y más común es “ladrillo de lodo secado al sol”, el segundo, “formación de lodo” y el tercero es simplemente “ladrillos de lodo”.

En el trabajo con adobes se encuentra siempre una gran dificultad al momento de normalizar las características que estos bloques deben de tener puesto que no resiste ninguna de las pruebas estandarizadas, pero fuera de los laboratorios, en condiciones reales, este tipo de construcciones ha demostrado resistencia frente a pruebas atmosféricas y de esfuerzos durante muchos siglos incluso.

Como es difícil estandarizar las características de los adobes, se sugiere realizar pruebas in situ con el objetivo de verificar la calidad de los materiales, estas pruebas son:

- ✓ Prueba de olor.
- ✓ Prueba de mordedura.

- ✓ Prueba de color.
- ✓ Prueba del tacto.
- ✓ Prueba de brillo.
- ✓ Prueba de la cintilla.
- ✓ Prueba de sedimentación.
- ✓ Contenido óptimo de humedad (límite líquido).
- ✓ Prueba de la bola.
- ✓ Prueba de lavado de manos.
- ✓ Prueba de contracción lineal.
- ✓ Prueba de contracción volumétrica.
- ✓ Prueba de la dureza.
- ✓ Prueba de permeabilidad.
- ✓ Prueba de agrietamiento.

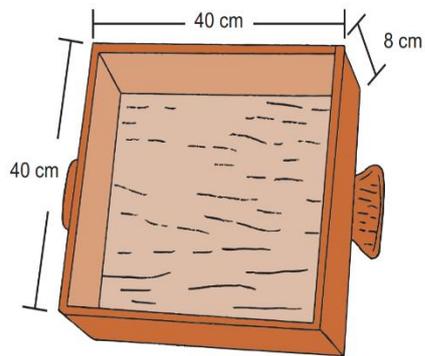
Estas pruebas en su mayoría no requieren instrumentos especializados y pueden ser realizadas in situ.

Según la (Ministerio de vivienda, construcción y saneamiento, 2017) p. 4 Unidad de tierra cruda, que puede estar mezclada con paja u arena gruesa para mejorar su resistencia y durabilidad.

El tipo de suelo que se usa en la elaboración de los bloques debe de tener una cantidad adecuada de arcillas y encontrarse libre de materia orgánica. El agua a usarse debe de ser potable o libre de materia orgánica, sales o sólidos en suspensión. En la norma se menciona además los aditivos naturales que pueden ser paja o arena gruesa que controlan las fisuras que se producen durante el proceso de secado rápido.

**Figura N° 3**

**Molde de adobe recomendado**



**Fuente: (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2010)**

**Edificaciones antisísmicas de adobe (p. 12)**

- **Proceso constructivo con adobe**

Al igual que todos los materiales empleados en la construcción, el adobe tiene un proceso constructivo especial y diferente respecto a otros, este proceso constructivo asegura la calidad de la vivienda y resistencia a factores climatológicos o esfuerzos que puedan tener los componentes de una vivienda.

La primera consideración que se debe de tener para iniciar el proceso constructivo es el dimensionamiento de la estructura. Según las zonas sísmicas las estructuras se limitarán a uno o dos pisos, en ningún caso más. En las zonas donde se acepten hasta dos niveles, por encima del primer nivel de adobe se puede utilizar estructuras más livianas como quincha o similares. (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2010) p. 8

**Figura N° 4**  
**Mapa de Zonificación sísmica**



**Fuente: (Ministerio de Vivienda, Construcción y Sanamiento, 2016)**  
**Norma técnica E. 030 (p. 6)**

La construcción empieza con la preparación de los bloques de adobe para lo cual el suelo es mezclado con agua hasta lograr una consistencia pastosa y se deja reposar durante dos días, antes de llenar los moldes de madera, llamados también gaveras, se agrega paja a la mezcla para evitar fisuras. Los moldes son llenados de barro y nivelados. Se desmolda el barro y se deja secar por 2 días aproximadamente siendo importante que no estén expuestos directamente al sol. Al tercer día se coloca los adobes de costado para completar su secado, en esta etapa los adobes ya pueden ser apilados y para alcanzar un estado ideal se deben dejar secar por lo menos 1 mes.

Con los bloques de adobe listos se puede proceder a la construcción de las viviendas de adobe para lo cual se sigue el siguiente proceso.

- ✓ Trabajos preliminares: consisten en la limpieza, nivelación, trazo y replanteo del terreno.
- ✓ Construcción de cimientos: las zanjas para los cimientos deben de tener una profundidad mínima de 0.50 m y un ancho de 0.6 m. los cimientos deben de ser de concreto ciclópeo o albañilería de piedra con mortero. Los sobrecimientos son usados en zonas propensas a inundaciones y en este caso se recomienda que se eleve 0.20 m del nivel de terreno y que sean de concreto ciclópeo o albañilería de piedra con mortero, el encofrado del sobrecimiento será utilizado para nivelar la primera hilada de adobes.
- ✓ Construcción de muros: preparar la mezcla de mortero para las uniones con tanta paja como sea posible, que permita una adecuada trabajabilidad, si las dimensiones del largo de muro exceden a 12 veces la dimensión del espesor del muro se usara arriostres verticales; la altura de los muros recomendada es de 2.40 m a 3 m. Cada 4 hiladas se puede añadir caña chancada o algún aditivo que mejore el mortero de las juntas.

En construcciones grandes el uso de arriostres es imprescindible, estos elementos pueden ser verticales u horizontales, así mismo en la parte superior de la estructura se coloca una viga collar en toda la estructura.

- ✓ Construcción del techo: La estructura del techo no debe de generar empujes laterales que provengan de cargas gravitacionales, deben de ser ligeros y su carga debe de ser distribuida entre la mayor cantidad de muros posibles. La estructura debe de estar fijada adecuadamente a la estructura a través de la viga solera. Los techos deben de considerar las condiciones climáticas del lugar para calcular el tamaño de los aleros y seleccionar el tipo de cobertura.

- ✓ Acabados: Los pisos de las viviendas si son de concreto deberán tener un espesor de 8 cm. En zonas de temperaturas bajas se debe de utilizar un revestimiento de madera machihembrada para mantener la temperatura. El revestimiento interior puede ser hecho de yeso, cemento o barro. En el exterior no se recomienda utilizar yeso. Las instalaciones eléctricas y sanitarias deben de estar supervisadas por un especialista para garantizar la calidad de las mismas. Las puertas y ventanas en los vanos serán según los diseños hechos.

- **Tapial**

Esta técnica de construcción consiste en rellenar un encofrado con capas de tierra de 10 a 15 cm compactando cada una de ellas con un pisón. (Minke, 2001) p. 14

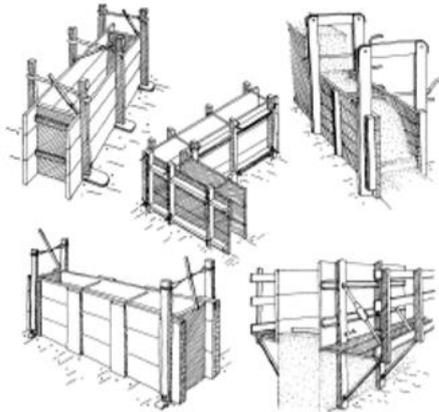
En la zona rural andina del Perú predominan viviendas de material rustico, una de estas tecnologías o métodos de construcción es el tapial, al rellenar los encofrados de madera se debe de usar un pisón con dos cabezas una de forma circular para el largo del muro y una cuadrada para compactar mejor en las esquinas.

Una característica de la construcción con tapial es el comportamiento monolítico que tiene debido a que es un solo bloque tierra que compone la estructura es por esta razón que se recomienda usar un sistema de encofrado continuo.

Los encofrados tienen una altura variante de 50 a 80 cm; así como el ancho del mismo que oscila entre los 30 a 40 cm. Por lo que una vez rellenado el encofrado este se desarma y ensambla nuevamente en la parte superior del muro, obviamente el material de la nueva capa es más húmedo y tiende a producir juntas con el material de la capa anterior, estas juntas deben de ser controladas para evitar que se produzcan fisuras u otras fallas en la estructura.

## Figura N° 5

### Modelos de encofrados continuos con y sin guía



**FUENTE (Minke, 2001) Manual de construcción para viviendas antisísmicas de tierra (p. 15)**

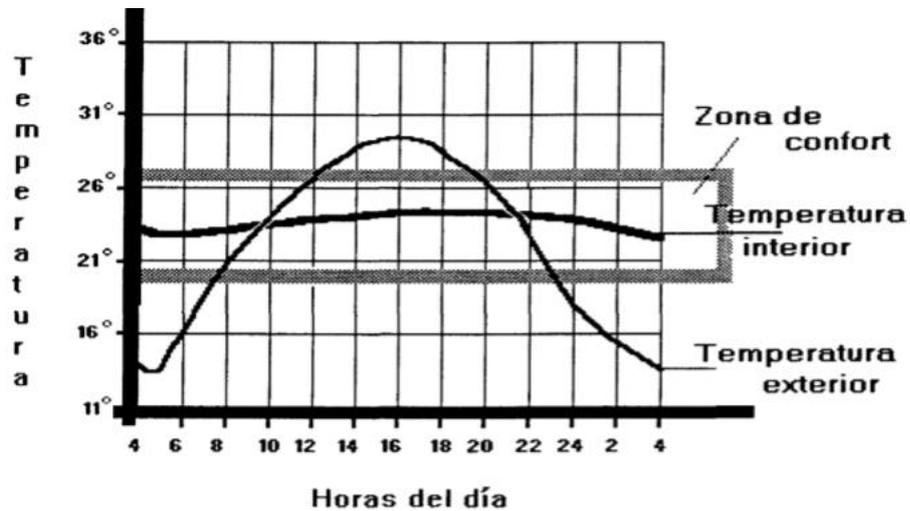
Según (De La Peña, 1997) p. 31.

El tapial es similar en la elaboración a los bloques de adobe sin embargo añade algunas características como por ejemplo el aumento de la inercia de los muros debido a las migraciones de vapores de agua, además de absorber la humedad del ambiente en proporciones importantes esto dentro de un régimen térmico variable.

Esta característica de la construcción con tapial puede traer una ventaja puesto que en condiciones de clima frío reduce en un 10% a 15% las necesidades de calefacción, sin embargo, en un cambio de estación la diferencia de humedad puede aumentar hasta un 5%. Por lo que es recomendable recubrir los muros con material aislante antes épocas de lluvias.

**Figura N° 6**

**Temperaturas de una construcción de tapia**



**FUENTE (De La Peña, 1997) Adobe, características y sus principales usos en la construcción (p. 34)**

En el Perú el tapial se elabora con encofrados móviles normalmente de madera que se colocan paralelos y sujetos entre sí para resistir las fuerzas laterales propias de la compactación de la tierra. (Ministerio de vivienda, construcción y saneamiento, 2017) p. 5.

Para la elaboración de estructuras de tapial reforzado se verifica la presencia de arcilla y su equilibrio con arena gruesa. Posteriormente el contenido de humedad del suelo. En los suelos arcillosos se debe de usar paja para el control de fisuras en proporción de 5 a 1 en volumen de paja y tierra respectivamente.

El encofrado debe de cumplir las siguientes características ancho mínimo de 40 cm, altura máxima de 60 cm. Y longitud máxima de 1.50 m. además de refuerzos exteriores horizontales y verticales para evitar deformaciones.

- **Proceso constructivo del tapial**

Como en el proceso constructivo con Adobe se tiene en cuenta la ubicación de la construcción para el dimensionamiento de la estructura, véase figura N° 4.

Los muros de tapial debido a su peso requieren de una cimentación competente que transmita adecuadamente las cargas al terreno. En las construcciones realizadas sin apoyo técnico en muchas ocasiones las cimentaciones son insuficientes o no existen, causando asentamientos diferenciales que, a su vez, producen rajaduras o grietas en los muros, debilitándolos y disminuyendo sensiblemente su capacidad resistente frente a sismos (Tejada, Mendoza, & Torrealva, 2013)

- ✓ Construcción de cimientos: los cimientos para estructuras de tapia son de 3 tipos.
  - Cimiento de Pirca: Con piedras grandes de preferencia de forma angulosa adheridas con barro.
  - Cimiento de concreto ciclópeo: Piedras grandes con concreto simple.
  - Cimiento de albañilería de piedra: Piedras con mortero de cemento o cal y arena gruesa.

El sobrecimiento puede ser del mismo tipo que los cimientos a excepción del tipo pirca. El ancho mínimo de los sobrecimientos es de 0.4 m y una altura mínima de 0.30 m. para proteger las bases del muro de la erosión. Adicionalmente se recomienda usar lajas de piedra en los laterales del sobrecimiento.

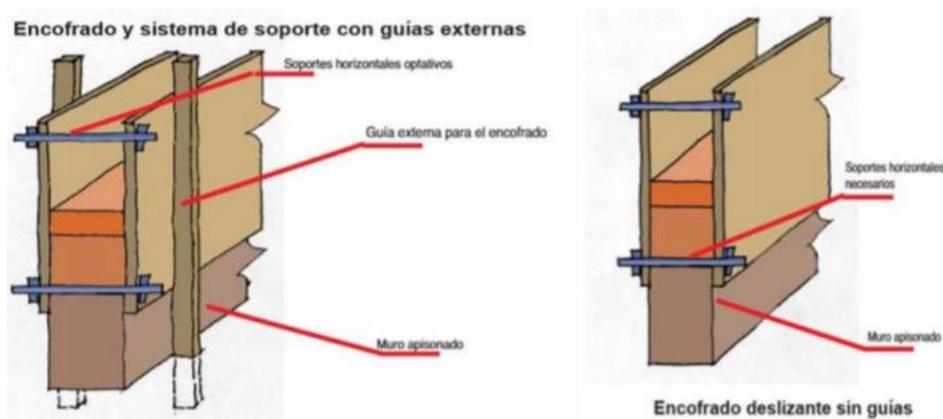
- ✓ Preparación del material para los muros: Una vez seleccionado el suelo se debe de someter a un tamizado y retirar piedras mayores a 3/8, así como otros materiales que impidan una compactación. El suelo tamizado es humedecido y se le agrega paja en un aproximado de 8 a 10% en estas condiciones debe de dejarse

reposar por 2 días. El uso de la paja es opcional dependiendo de las costumbres de construcción de cada localidad, su beneficio radica en la reducción de contracciones y mejora de la adherencia de los tapiales.

- ✓ Encofrados: Los moldes o encofrados dentro de los cuales se vierte el suelo ya preparado. Es necesario mantener la verticalidad de los muros en todo momento, así como las dimensiones de ancho a pesar de las presiones del material apisonado. Para lograr este cometido existen dos tipos de encofrados para tapiales.
  - Uno se basa en guías que permiten elevar el encofrado con facilidad.
  - Encofrado deslizante en que las secciones del muro construidas sirven como guía para las demás.

**Figura N° 7**

### **Encofrados para tapia**



**Fuente: (Tejada, Mendoza, & Torrealva, 2013)**

### **Uso del tapial en la construcción**

- ✓ Moldeo del tapial: Según las dimensiones máximas de los encofrados en la norma E. 080 el suelo se rellenará en capas de 15 cm. el número de golpes por capa depende del criterio de la

persona responsable. Terminada la primera capa se desliza horizontalmente el encofrado y se prosigue con el muro. Para colocar la siguiente hilada se debe de esperar al menos 3 días.

Las herramientas para la compactación son mazos de peso considerable y paletas para las capas superficiales de cada hilada.

- ✓ Techos: Se sigue el mismo procedimiento que en las construcciones con adobe.
- ✓ Acabados: Es idéntico a las construcciones con adobe.

- **Viviendas rurales**

Las viviendas en zonas rurales no tienen la misma composición que una vivienda típica en una zona urbana. En zonas rurales las viviendas constan de varios módulos que pueden o no estar conectados por los muros, estos sirven como habitaciones destinadas a ser dormitorios, comedores, cocinas, almacenes.

En su investigación realizada para la UNESCO. (Carazas, 2001) p. 28

La tipología de la casa popular se origina en las expresiones socioculturales de la historia peruana y abarca las épocas preincaicas, el imperio inca y, más tarde, la llegada de los españoles que constituye el comienzo de la colonización. Las similitudes funcionales y morfológicas de base se fusionaron (yuxtaposición y superposición) para dar lugar a los tipos particulares que existen hoy en día en el espacio urbano de la ciudad del Cusco.

La forma y tipología de las viviendas en la zona rural ha conservado las características morfológicas y funcionales de origen prehispánico.

Carazas, distingue dos tipos de vivienda de adobe.

✓ **Tipo A**

Con influencias de forma prehispánica llevadas a zonas rurales o cerca de las zonas urbanas por poblaciones migrantes.

El ejemplo más claro de esta referencia rural es la casa de alta montaña, que no se encuentra tal cual en el entramado urbano. Está construida en un solo nivel con dos bloques rectangulares. (Carazas, 2001) p. 29

**Figura Nº 8**  
**Vivienda rural tipo A**



**Fuente: (Carazas, 2001) Vivienda urbana popular de adobe en Cuzco, Perú**  
**p. 29**

✓ **Tipo B**

Con influencias hispano-coloniales. Consisten de casas de dos niveles alrededor de un patio conectadas por corredores, con el trascurso del tiempo se intenta replicar y recudir espacios hasta llegar a la tipología de viviendas actuales.

Es así que se puede determinar que las viviendas rurales en su mayoría son del tipo A con dimensiones pequeñas y son compatibles con el sistema de refuerzo de mallas metálicas.

- **Estabilización y mejoramiento de materiales rústicos**

Debido al tipo de material empleado en construcciones rústicas es necesario tener en cuenta procedimientos para aumentar la estabilidad de la estructura, así como la calidad de los materiales.

Según (Minke, 2001) p. 14&22

La estabilización de la estructura se logra a través de:

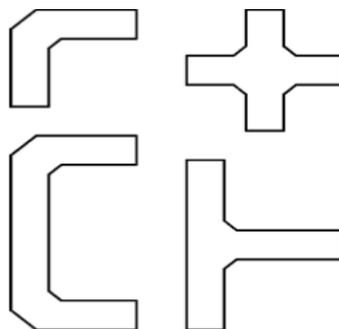
- ✓ **Estabilización por la forma**

Debido a que los muros delgados son débiles frente a esfuerzos horizontales y perpendiculares y que los refuerzos de concreto armado son costosos, la estabilización se logra mediante formas angulares es decir formas L, T, U según las indicaciones sobre espesor ya que un muro más ancho tiende a ser más estable además de la presencia de arriostres que según la norma E. 080 se debe de incluir, además muros de tabiquería interna para estabilizar la estructura.

Para lograr una estabilización óptima en edificaciones importantes se puede añadir un diseño especial a las esquinas angulares de la estructura, esto principalmente en las estructuras de tapia.

**Figura N° 9**

**Estabilización por forma**



**Fuente: (Minke, 2001) Manual de construcción para viviendas antisísmicas de tierra p. 17**

### ✓ **Estabilización con refuerzo interno**

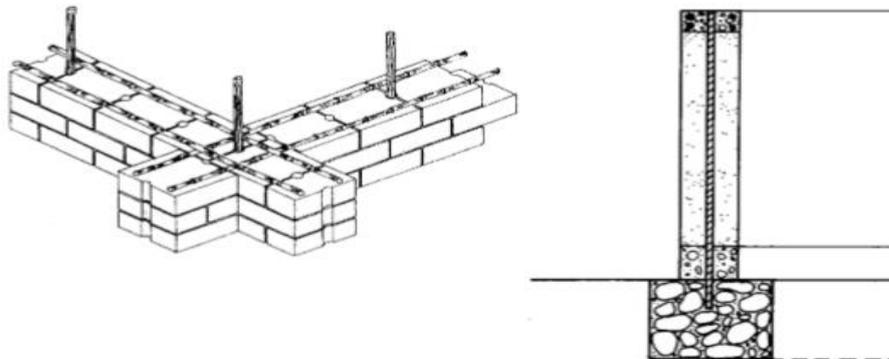
En el caso de construcción con adobes los refuerzos internos son utilizados cuando los adobes son elaborados de forma especial de tal manera que los bloques contienen ranuras en las cuales se puede colocar refuerzos horizontales además de los arriostres verticales indispensables según la norma E. 080.

En estructuras cuyo largo de muro libre sea mayor a 12 veces el espesor del muro es necesario, aparte de muros de tabiquería estabilizantes, el uso de refuerzos de hormigón.

Cuando la construcción es con sistema de tapial no se sugiere la presencia de arriostre horizontales, esto debido a que impide la compactación de un tramo del muro, los arriostres verticales son necesarios cuando se usan muros de tabiquería interna que estabilicen la estructura.

**Figura N° 10**

### **Estabilización con refuerzos internos**



**Fuente: (Minke, 2001) Manual de construcción para viviendas antisísmicas de tierra p. 19 & 23**

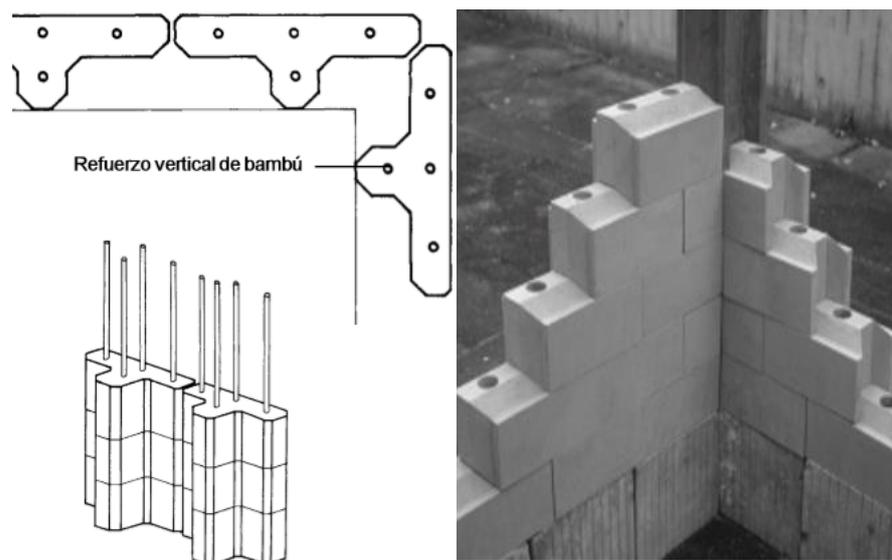
✓ **Estabilización mediante bloques machihembrados**

Una solución interesante para la construcción con tierra es el uso de bloques machihembrados que encajan entre si siendo necesaria solamente la adición de refuerzos horizontales y verticales.

Este sistema no necesita de mortero en las uniones de los bloques, sin embargo, la elaboración de estos bloques es compleja debido a que necesita de material estabilizado (añadido con cemento o cal) y el uso de prensas mecánicas para lograr una uniformidad en los bloques.

**Figura N° 11**

**Construcciones con bloques de tierra machihembrada**



**Fuente: (Minke, 2001) Manual de construcción para viviendas antisísmicas de tierra p. 21 & 26**

✓ **Mejoramiento del material rustico**

En la investigación (Hastings & Huerta, 2015) p. 4.

Luego de analizar los suelos para la construcción usados en adobes y tapias se realizó mejoramientos de estos con cal y cemento del 5% al 7% y de del 5% al 10%.

Debido a la cantidad de arcilla presente en los suelos resulto mejor la estabilización con cemento que con cal. La tierra estabilizada con cemento al 5% alcanzo una resistencia máxima de 32.62 Kgf/cm<sup>2</sup> mientras que la tierra estabilizada con un 10% de cemento alcanzo una resistencia máxima de 39.96 Kgf/cm<sup>2</sup>. Al adicionar arena a la mezcla se obtuvieron aún mejores resultados llegando estos a 46.56 Kgf/cm<sup>2</sup> y 55.46 Kgf/cm<sup>2</sup> respectivamente.

El uso de estiércol para estabilizar los adobes, aunque no recomendada por la presencia de materia orgánica alcanzo una resistencia adecuada igual a 26.4 Kgf/cm<sup>2</sup>.

Al igual que muchas partes del mundo el tamaño de los adobes es variable encontrándose de anchos desde 26,5 cm. hasta 30 cm. Después de los ensayos de estabilidad y capilaridad se recomienda usar bloques de 50 cm x 30 cm. x 15 cm.

- **Sismo**

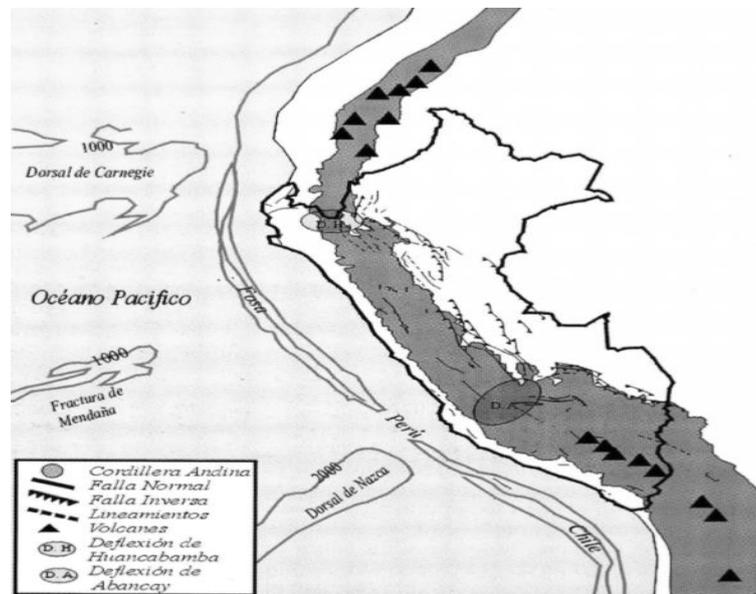
Según (Zelaya, 2007) p. 26 .El sismo es el movimiento vibración del suelo, ocasionado por la energía mecánica emitida de los mantos superiores de la corteza terrestre.

Las vibraciones en el suelo pueden ser pequeñas o leves en cuanto a energía se supone como las ocasionadas por la presencia de maquinarias o vehículos grandes transitando cerca de las personas, estos son considerados como un temblor. Sin embargo, eventos que liberan más energía pueden ser ocasionadas por erupciones volcánicas, estos son llamados terremotos.

Para (Tarbuck & Lutgens, 2005) p. 309. Existe evidencia de que la tierra no es un planeta estático de hecho existen fallas que facilitan los desplazamientos de la corteza sean estos horizontales o verticales.

Los terremotos suelen ocurrir a lo largo de estas fallas, mientras más grande sea la falla más energía será liberada y por lo tanto los efectos del sismo serán mayores. Algunas fallas son pequeñas y solo producen terremotos pequeños e infrecuentes. Aun así, las fallas inactivas o pequeñas pueden verse afectadas por los esfuerzos de la corteza, desplazamiento de otras fallas. Teniendo en cuenta que las fallas no siguen una línea recta si no que tienden a ramificarse y dividirse a lo largo de su recorrido, estas pueden extenderse y originar eventos sísmicos.

**Figura N° 12**  
**Fallas geológicas en Perú**



**Fuente: (Tavera & Bernal, 2005) Distribución de áreas de ruptura y lagunas sísmicas en el borde oeste del Perú. p. 91.**

La actividad sísmica es constante en todo el mundo, sin embargo, solo algunos movimientos llegan a ser perceptibles por los humanos y estos son los que ponen en riesgo a las poblaciones.

De aquellos movimientos sísmicos que alcanzan la categoría de terremotos se puede llegar a ubicar dos puntos importantes. (Zelaya, 2007) p. 26

✓ **Hipocentro**

Es el origen del sismo el cual puede ser representado como un punto debajo de la superficie terrestre.

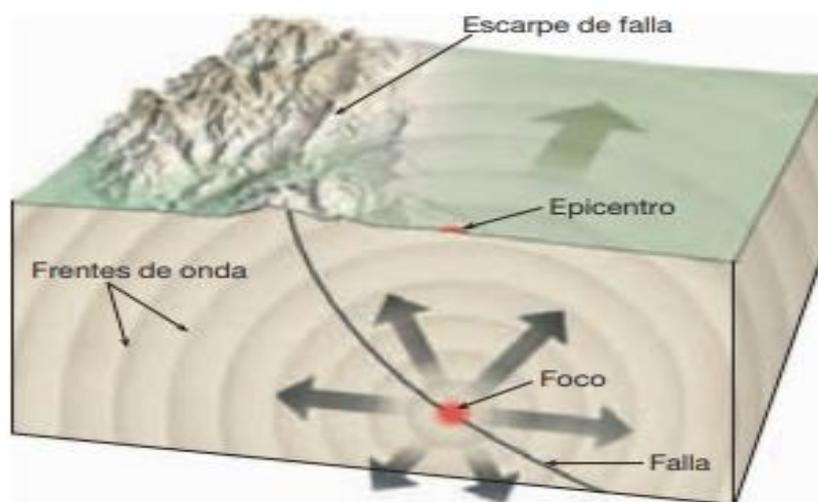
✓ **Epicentro**

La proyección vertical, sobre la superficie de la tierra, del hipocentro.

Para conocer la ubicación y evaluar de mejor manera los efectos de un sismo es necesario conocer tanto el hipocentro o foco y el epicentro del mismo.

**Figura N° 13**

**Epicentro e hipocentro de un sismo**

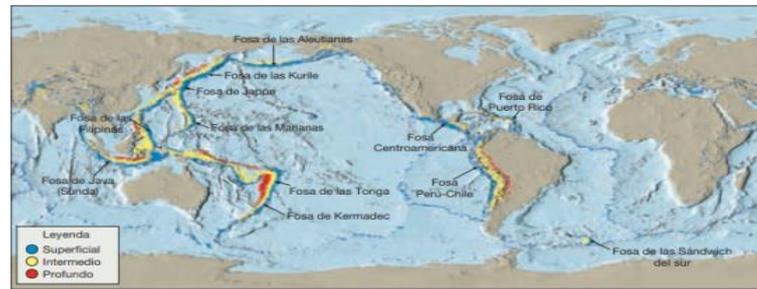


**Fuente: (Tarbuck & Lutgens, 2005) Ciencias de la Tierra una introducción a la geología física (P. 308)**

La distribución de los sismos a lo largo del mundo es variada sin embargo existe zonas de mayor sismicidad que presentan una alta concentración terremotos. Cabe resaltar que el Perú se encuentra en el denominado cinturón de fuego del pacifico y cuenta con placas tectónicas en los sub suelos de su territorio haciendo del Perú en país altamente sísmico.

**Figura N° 14**

**Distribución de los terremotos y su profundidad**



**Fuente: (Tarbuck & Lutgens, 2005) Ciencias de la Tierra una introducción a la geología física (P. 320)**

A lo largo de los años se trató de cuantificar los efectos que produce un sismo tanto en energía liberada como en daños realizados a las poblaciones es así que al día de hoy existen dos escalas para medir los efectos de los sismos.

✓ **Escala de Intensidad**

Después de los primeros intentos cartográficos de medir la intensidad del sismo mediante la destrucción causada en distintos puntos, en el año de 1902 Giuseppe Mercalli desarrollo una escala relativamente fiable que es utilizada hasta hoy en día con algunas modificaciones.

Esta escala fue y es de gran utilidad para evaluar los sismos en lugares donde no existen sismógrafos sin embargo al estar esta escala basada en la destrucción que genera en los edificios no es fiable para evaluar la cantidad de energía producida durante el mismo. Ya que la destrucción ocasionada no depende solamente de la gravedad del sismo, otras condiciones pueden incrementar la destrucción ocasionada por estos el tipo de suelos, el proceso constructivo empleado o la calidad de materiales puede hacer que la destrucción en un lugar sea mayor que en otro donde el sismo tuvo la misma gravedad.

**Tabla N° 1**

**Escala modificada de Mercalli**

I	No sentido, excepto por algunas personas bajo circunstancias especialmente favorables.
II	Sentido sólo por unas pocas personas en reposo, especialmente en los pisos elevados de los edificios.
III	Sentido con bastante nitidez en los interiores, especialmente en los pisos superiores de los edificios, pero muchas personas no lo reconocen como un terremoto.
IV	Durante el día, sentido en interiores de edificios por muchas personas, en los exteriores por muy pocas. Sensación de que un camión pesado haya chocado contra el edificio.
V	Sentido por casi todo el mundo, muchos se despiertan. A veces se observan cambios en los árboles, los postes y otros objetos altos.
VI	Sentido por todos; muchos se asustan y salen a la calle. Algunos muebles pesados se mueven; pocos casos de paredes caídas o chimeneas dañadas. Poco daño.
VII	Todo el mundo corre a la calle. Daño despreciable en los edificios de diseño y construcción buenos; de ligero a moderado en las estructuras de construcción ordinaria; considerable en los edificios pobres o con estructuras mal diseñadas.
VIII	Daño ligero en estructuras especialmente diseñadas; considerables en edificios sustanciales ordinarios con derrumbamiento parcial; grande en estructuras mal construidas (caída de chimeneas, columnas, monumentos, muros).
IX	Daño considerable en estructuras especialmente diseñadas. Los edificios son desplazados de sus cimientos. Se abren grietas en el suelo.
X	Se destruyen algunas estructuras de madera bien construidas. La mayoría de las estructuras de albañilería y madera se destruyen. Se abren muchísimas grietas en el terreno.
XI	Quedan de pie muy pocas estructuras, si queda alguna. Se destruyen los puentes; grandes fisuras en el terreno.
XII	Daño total. Se ven ondas en el suelo. Los objetos son lanzados al aire.

**Fuente: (Tarbuck & Lutgens, 2005) Ciencias de la tierra una introducción a la geología física p. 321**

✓ Escala de magnitud

Parada poder realizar una comparación entre terremotos en todo el mundo sin que esta se viera afectada por parámetros como tipo de construcción o superficie terrestre en el año de 1935 Charles Richter desarrollo la primera escala de magnitud.

Esta escala se basa en la amplitud de la mayor onda sísmica registrada en el sismógrafo, dado que las ondas sísmicas se debilitan a medida que se alejan del sismógrafo. Richter desarrollo un método que considera la disminución de la amplitud de onda con el incremento de distancia.

Una forma sencilla de entender esta escala es que a cada unidad de incremento en la escala la amplitud de onda se incrementa diez veces, es decir, que un terremoto de magnitud 6 produce 10 veces más vibración que un terremoto de que tenga una magnitud de Richter de 5. Además, cada unidad corresponde a aproximadamente un aumento de energía de 32 veces.

**Tabla N° 2**

**Magnitud, energía e incidencia de los sismos**

M. Richter	Energía liberada (millones de ergios)	Número por año
0	$630 * 10^3$	600 000
1	$20 * 10^6$	
2	$630 * 10^6$	300 000
3	$20 * 10^9$	49 000
4	$630 * 10^9$	6 200
5	$20 * 10^{12}$	800
6	$630 * 10^{12}$	266
7	$20 * 10^{15}$	25
8	$630 * 10^{15}$	3
9	$20 * 10^{18}$	
10	$630 * 10^{18}$	

**Fuente: Adaptado de (Tarbuck & Lutgens, 2005) Ciencias de la tierra una introducción a la geología física p. 322 & 323**

Las construcciones de adobe en zonas rurales no están estandarizadas, gracias a la facilidad que ofrece los procesos constructivos de adobe o tapia que permite reutilizar los materiales empleados. El refuerzo estructural debe de lograr que los sismos severos no logren llegar más allá de la escala VII de la escala de Mercalli.

- **Ondas sísmicas**

Son un tipo de ondas elásticas fuertes en la propagación de perturbaciones temporales que generan movimientos en las placas tectónicas.

Para (Tarbuck & Lutgens, 2005) p.314 las ondas sísmicas son energía elástica que es liberada desde el hipocentro hacia todas las direcciones. Gracias a los sismógrafos se detecta además las vibraciones que producen los movimientos de masas de roca genera dos tipos de ondas sísmicas.

- ✓ Ondas superficiales.
- ✓ Ondas de cuerpo.

Las ondas de cuerpo son las que se propagan en el interior de la tierra a través de todos sus estratos, estas a su vez se dividen en dos tipos:

- ✓ **Ondas primarias (P)**

Su forma de desplazamiento entre los materiales es la de compresión y expansión, la materia en estado sólido, líquido o gaseoso tiende a rechazar el cambio de volumen por lo que recuperará elásticamente su estado original. Por lo que se puede concluir que estas ondas son compresivas y pueden viajar a través de cualquier material.

- ✓ **Ondas secundarias (S)**

Las ondas secundarias mueven las partículas, por las cuales se desplazan, en dirección perpendicular con respecto a la dirección de la onda, mientras que las ondas P comprimen y expanden

alternativamente el material por el que viajan las ondas S deforman transitoriamente el material que los transmite. Debido a que los gases y líquidos no responden elásticamente al cambio de forma no transmiten las ondas S.

✓ **Ondas superficiales**

El movimiento de las ondas superficiales es más complejo, mientras que las ondas viajan a través del suelo. Además del movimiento ascendente y descendente, tiene también un movimiento lateral similar al de las ondas S orientada en un plano horizontal. Este movimiento es el más peligroso para las edificaciones.

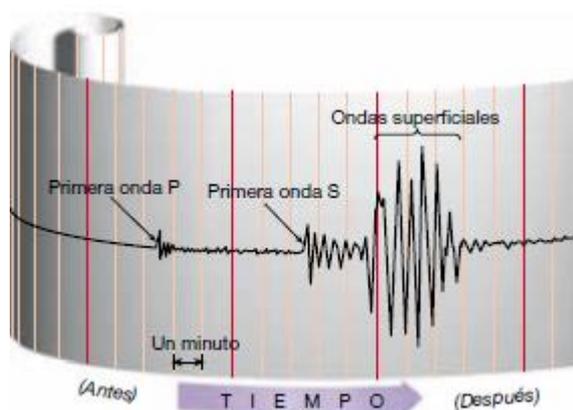
En un registro sísmico se puede observar las diferencias claras entre las ondas sísmicas.

- ✓ Las ondas P son las primeras en llegar seguido de las ondas S y finalmente las ondas superficiales.
- ✓ La amplitud de las ondas S es ligeramente mayor que el de las ondas P, sin embargo las ondas superficiales tienen una amplitud mucho mayor por lo que la destrucción que causan son mayores.

Las velocidades de las ondas P es, en cualquier sólido, 1.7 veces más que las ondas S, mientras que las ondas superficiales viajan a un 90% de las ondas S aproximadamente.

Debido a que las ondas superficiales se producen y propagan cerca de la superficie terrestre conservan durante más tiempo su amplitud máxima a la vez que tienen unos periodos más largos. Son llamadas también ondas L.

**Figura N° 15**  
**Ondas sísmicas**



**Fuente: (Tarbuck & Lutgens, 2005)**

**Ciencias de la Tierra una introducción a la geología física (P. 317)**

- **Movimiento oscilatorio**

Todo cuerpo que posee masa y elasticidad sometido a un movimiento oscilatorio puede vibrar. La vibración ocasionada por fuerzas externas o vibración forzada se denomina también vibración oscilatoria. Los grados de libertad son las coordenadas que se necesitan para describir el movimiento del sistema. Tres grados son de posición que a su vez pueden ser complementados de otros tres grados que sean componentes de ángulos que definen su orientación. Sin embargo, muchos problemas de vibración pueden ser tratados reduciendo los grados de libertad. (Thomson, 1982)

Las vibraciones generan movimiento que cuando se repiten con regularidad se llama movimiento armónico.

- ✓ **Movimiento armónico**

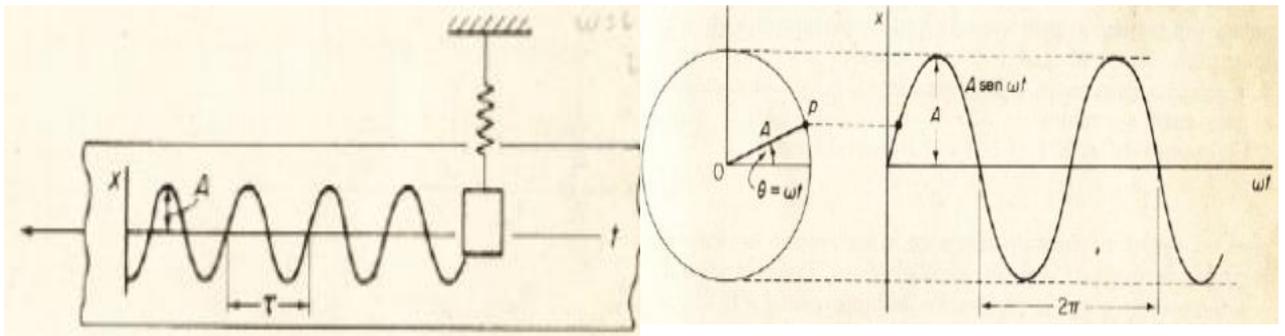
Cuando un movimiento se repite a intervalos de tiempo se le llama periódico. El movimiento periódico más básico es el movimiento armónico. Este movimiento puede ser representado de dos maneras para su entendimiento.

La primera es mediante una masa suspendida de un resorte, en donde sí se libera, la masa oscila libremente en movimientos verticales que pueden ser registrados.

Otra forma de ser representada es la proyección sobre una línea recta de un punto que se desplaza por el perímetro de una circunferencia a velocidad constante.

**Figura N° 16**

### **Movimiento armónico**



**Fuente: (Thomson, 1982) Teoría de vibraciones (P. 3)**

- **Fallas estructurales**

Como toda estructura las construcciones de adobe o tapial pueden presentar fallas que pone en riesgo la estabilidad de la misma y aun peor la seguridad de sus ocupantes. Gracias a que los materiales empleados en estas construcciones son reutilizables se puede reparar estas fallas mediante un proceso adecuado y seguro.

Las principales fallas que se presentan en construcciones de material rustico y sus soluciones. (MINISTERIO DE VIVIENDA, CONSTRUCCIÓN Y SANEAMIENTO, 2014),

Las fallas son:

✓ **Asentamiento y deformación**

Los asentamientos y deformaciones en edificaciones de un solo nivel se dan por la mala calidad de suelos, se puede evitar haciendo una buena cimentación y si la falla ya es evidente se debe de emplear calzaduras si el problema es en los muros o mejorar el suelo si el problema es en el interior de la vivienda.

✓ **Grietas y derrumbes**

Las grietas son las fallas originadas por sismos o la concentración de esfuerzos en la mampostería.

Los esfuerzos sísmicos generan fallas en las estructuras, dependiendo mucho del proceso constructivo y de la calidad de la edificación se pueden presentar de forma diagonal, vertical u horizontal siendo todas estas un riesgo constante durante y después de los eventos sísmicos.

La solución en todos estos casos es siempre la refracción de los muros y la adición de un refuerzo estructural.

✓ **Desplome o desnivel**

Es la pérdida de alineamiento vertical original. Estas fallas son consecuencias de las dos anteriores cuando no han sido reparadas o tratadas los efectos son más evidentes y peligrosos.

✓ **Agentes atmosféricos**

Los deterioros causados por la lluvia, la humedad, el viento y la temperatura. La solución en estos casos es la de aislar el elemento afectado y protegerlo de los agentes atmosféricos; renovar el recubrimiento es la solución más común en caso de que el problema sea el muro, en los techos se usa canaletas o impermeabilización de la estructura.

### ✓ **Agentes bióticos**

Los organismos como musgos, líquenes e insectos ponen en serio riesgo las estructuras de tierra la solución es reparar primero las deficiencias por agentes atmosféricos, impidiendo así el desarrollo de los agentes bióticos, una limpieza y resane de los elementos afectados da por concluido la reparación.

La finalidad del refuerzo de mallas es evitar las fallas producidas por los sismos o reducirlas de tal manera que no represente un riesgo inmediato para los habitantes de las casas.

### • **Diseño sismoresistente**

El propósito de las viviendas es de dar cobijo y seguridad para sus ocupantes. Para lograr este objetivo es necesario que una vivienda pueda resistir eventos sísmicos sin presentar riesgos para los ocupantes.

Teniendo esto presente la norma peruana E. 030 (Ministerio de Vivienda, Construcción y Sanamiento, 2016) presenta la filosofía y principios de un diseño sismoresistente.

La filosofía consiste en:

- ✓ Evitar pérdida de vidas humanas.
- ✓ Asegurar la continuidad de los servicios básicos.
- ✓ Minimizar los daños a la propiedad.

Reconociéndose que la protección completa frente a sismos no es técnica ni económicamente factible para muchas estructuras se establecen los siguientes principios en concordancia con la filosofía de diseño sismoresistente.

- ✓ La estructura no debería colapsar ni causar daños graves a las personas, aunque podría presentar daños importantes, debido a movimientos sísmicos calificados como severos para el lugar del proyecto.

- ✓ La estructura debería soportar movimientos del suelo calificados como moderados para el lugar del proyecto, pudiendo experimentar daños reparables dentro de límites aceptables.
- ✓ Para las edificaciones esenciales, se tendrán consideraciones especiales orientadas a lograr que permanezcan en condiciones operativas luego de un sismo severo.

- **Comportamiento sísmico**

El comportamiento sísmico o comportamiento de la estructura durante el sismo es la variación que sufren los parámetros sísmicos durante los terremotos. Estos parámetros pueden ser evaluados para ver si cumplen con la filosofía y principios de diseño sismoresistente.

Según (Ojeda, 2012) p. 4&5

- ✓ **Cortante basal máximo (V)**

Es la fuerza creada en la base debido al movimiento de la masa durante en sismo.

- ✓ **Coeficiente sísmico**

Es el resultado de dividir  $V$  entre el peso del espécimen correspondiente.

Otros parámetros sísmicos a considerar son:

- ✓ **Frecuencia natural**

Representado en una figura simple es la oscilación que produce la masa de una partícula sujeta a un resorte. (Thomson, 1982) p. 14.

Para calcular la frecuencia se tiene en consideración la rigidez del resorte  $k$  y la masa de la partícula, la masa del resorte se desprecia.

✓ **Resonancia**

Es el efecto producido cuando una fuerza externa hace vibrar a una estructura a una determinada frecuencia, y esta frecuencia coincide con la frecuencia natural de la estructura. (Thomson, 1982) p. 2.

En ese momento se produce la resonancia que tiene como efecto la amplificación indeterminada de las ondas oscilatorias.

Estos parámetros serán medidos para evaluar el aporte del sistema de refuerzo estructural de mallas metálicas y comprobar si cumple con los principios de diseño sismoresistente.

● **Diseño sismoresistente para viviendas rurales de material rústico**

Al igual que en toda construcción para lograr una seguridad ideal frente a cualquier evento sísmico que se presente es necesario tener en cuenta recomendaciones y lineamientos para su ejecución.

✓ **Consideraciones generales**

Conocidos la filosofía y principios del diseño sismoresistente se debe de tener en consideración algunos elementos más para lograr un correcto diseño.

○ **Ubicación**

Las zonas rurales y comunidades campesinas muchas veces de difícil acceso muestran terrenos desnivelados o no adecuados para una construcción por lo que se debe de preparar el terreno donde se va a realizar la construcción.

Esto implica nivelar el terreno no solo en el área a construir si no a los alrededores también.



golpeadas con un peso de 40 Kg. Sobre un péndulo de longitud de 5.5 m.

### **Figura N° 18**

#### **Ensayos con dos formas de planta**



**Fuente: (Minke, 2001) Manual de construcción para viviendas antisísmicas de tierra p. 10**

#### ✓ **Dimensionamiento**

En las Normas E. 080 y E. 030 se indica y especifica 4 zonas sísmicas para considerar el diseño y dimensionamiento de estructuras sismoresistentes.

Como se puede observar en la Tabla N° 3 la región Junín se encuentra en su gran mayoría comprendida en la zona 3, las zonas tropicales de climas cálidos y húmedos se encuentran en la zona 2. La construcción con materiales rústicos de Adobes y tapias es recomendable en climas fríos y secos puesto que sirven como aislante térmico y tienden a absorber la humedad del ambiente creando muros inestables y en constante proceso de humectación y secado.

**Tabla N° 3**

**Zonificación sísmica de la región Junín**

DPTO.	PROVINCIA	ZONA SÍSMICA
JUNÍN	CHANCHAMAYO	2
	SATIPO	2
	TARMA	2 & 3
	JAUJA	2 & 3
	JUNÍN	2 & 3
	YAULI	3
	CONCEPCIÓN	2 & 3
	CHUPACA	3
	HUANCAYO	2 & 3

**Fuente: Adaptado de (Ministerio de Vivienda, Construcción y Sanamiento, 2016) Norma E. 030**

Una vez determinada que la región Junín se encuentra en la zona sísmica dos se puede llegar a la conclusión que para diseñar viviendas sismoresistentes de material rústico, estas deben de ser de un solo nivel.

Al momento de dimensionar estas estructuras de un solo nivel se debe de tener en consideración que mientras mayores sean las dimensiones serán mayores los elementos estructurales que deberán de ser añadidos. Los arriostres son indispensables, así como los muros portantes estabilizadores de forma. Las vigas collares y sobrecimientos deberán de ser realizadas bajo la supervisión de un especialista.

### ✓ **Proceso constructivo y refuerzos**

En comunidades alejadas el proceso constructivo tradicional sumado al escaso poder adquisitivo de los pobladores lleva a la necesidad de hacer el dimensionamiento que no necesite la presencia de elementos de arriostre o componentes de concreto para el confinamiento.

Programas del estado o de empresas privadas mejoran las viviendas ya existentes de algunos pobladores, estos programas bajo constante supervisión técnica y considerable inversión económica lamentablemente no cubren a toda la población. Los programas de capacitación a su vez no llegan a todas las poblaciones objetivas.

Difícilmente se podrá usar bloques machihembrados o mejorados puesto que los bloques se realizan de forma artesanal, el empleo de materiales desconocidos por los pobladores de esas zonas como la geomalla o mallas electro-soldadas y su imposibilidad de acceder a ellos. Ocasionan la necesidad de ensayar y probar sistemas de refuerzo que puedan ser replicados con éxito y sin mayor dificultad por los mismos pobladores.

Un sistema de refuerzo ideal es el que permita aprovechar las ventajas de las construcciones con tierra y cumpla su propósito.

Así mismo es necesario diferenciar la importancia de las estructuras y el proceso constructivo y tipo de refuerzo que debe de tener.

### ✓ **Acabados y mantenimiento**

Una de las características del material rústico es su susceptibilidad frente a eventos atmosféricos por lo que la por ejemplo en zonas expuestas a inundaciones o con un nivel de escorrentía alto es necesaria el uso de sobrecimientos, los muros deben de estar protegidos frente a lluvias, por lo que el

dimensionamiento de los techos y alerones debe de ser el adecuado.

La tierra sin cocer empleada en estas construcciones puede debilitarse si absorbe mucha humedad, después de años el cambio de temperatura y humedad del ambiente puede producir grietas en las estructuras que deben de ser resanadas.

Una mala cimentación o la ausencia de este ocasiona hundimientos disparejos y peligrosos en cuyo caso la solución requiere más trabajo, pero una igual inversión en materiales.

El mantenimiento de las viviendas es un trabajo arduo si no se realiza debidamente, pero puede verse disminuido si se toman medidas para evitar el deterioro de los materiales.

- Sobrecimientos de concreto si la ubicación de la construcción lo requiere.
- Tamaño adecuado de los alerones del techo para evitar que la lluvia dañe los muros.
- Tarrajeo exterior con cemento; el tarrajeo con barro requerirá periódicamente un mantenimiento.
- La cobertura de los techos debe de ser la ideal, así como la estructura de los mismos.

En las labores de mantenimiento se debe de evitar involucrar más parte de la estructura que lo necesario. Es decir, debe de ser poco invasiva para evitar modificar partes de la estructura que tengan un adecuado funcionamiento.

- **Refuerzo estructural**

El refuerzo estructural es todo aquel componente o sistema integro que ayude a una estructura a resistir mejor los esfuerzos a los que es sometida durante eventos sísmicos.

Según la norma técnica E 030 las viviendas rurales son edificios de categoría C, Junín se encuentra entre la zonificación 2 y 3. Teniendo esto en cuenta el refuerzo estructural o sistema estructural es *cualquier sistema*. (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2016) p. 9

Esto quiere decir que cualquier sistema que pueda ser empleado será útil al momento de reforzar las estructuras de tierra.

✓ **Refuerzo interno.**

En aquellas estructuras que por las dimensiones y tipo de material necesite refuerzos para prevenir fallas los refuerzos internos son de gran utilidad puesto que mejoran las características de la estructura.

Estos refuerzos son arriostres y pueden estar hechos de madera, o materiales como la caña su función principal es la impedir el libre movimiento de la estructura durante eventos sísmicos.

Véase en la figura 10 los refuerzos colocados en el interior de la estructura son empleados en distinta distribución dependiendo del tipo de proceso constructivo.

Lo importante al momento de colocar los refuerzos internos es que estos no obstruyan ni dificulten un adecuado proceso constructivo. Por lo que para su uso se requiere de bloques o encofrados especiales que permitan estas características, es decir, es más fácil su empleo si se trabaja por ejemplo con bloques machihembrados. Aun así, estos requieran una inversión mayor.

✓ **Refuerzo externo**

El refuerzo externo recomendado por el Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento tanto para estructura de adobe o tapia es el de Geomalla.

La geomalla se podrá usar como refuerzo de las edificaciones de adobe, colocándolas en ambas caras de los muros portantes y no portantes, sujeta horizontal y verticalmente con pasadores de rafia o similar, a máximo de separación 300 mm. (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2010)

Este refuerzo deberá de abarcar los bordes de los vanos existentes así mismo estará anclada a la cimentación y la viga collar y recubierta de un tarrajeo de cemento o barro.

Los refuerzos externos tienen la ventaja que pueden ser aplicados sobre viviendas ya existentes, con algunas modificaciones respecto a su empleo en viviendas nuevas. Los refuerzos externos tienen la finalidad de evitar desplomes en viviendas y daños personales a los habitantes.

#### ✓ **Refuerzo en viviendas existentes**

Todos los sistemas de refuerzo que son recomendados o utilizados son para viviendas nuevas, sin embargo, en viviendas existentes debido a que el sistema estructural no sufre muchas alteraciones estos sistemas pueden ser aplicados con algunas modificaciones.

Sin embargo, el comportamiento sísmico dependerá también de un adecuado proceso constructivo.

En viviendas que presentes fallas como fisuras, grietas o desplazamiento del muro respecto a su eje es necesario la reparación de estas fallas antes de considerar el uso de algún sistema de reforzamiento.

Los refuerzos que se pueden emplear en viviendas existentes son

- Recubrimiento con geomalla anclada solamente al techo.

- Colocación de viga collar en la estructura del techo.
- Anclaje de estructura de madera externa en los muros portantes.

- **Uso de mallas metálicas sobre geomalla**

La norma peruana E. 080 (Ministerio de vivienda, construcción y saneamiento, 2017) p. 9

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

...

e) Los elementos que conforman los entresijos o techos de las edificaciones de tierra reforzada, deben estar adecuadamente fijados al muro mediante una viga collar. El refuerzo debe fijarse desde la base del sobrecimiento a la viga collar.

Señala además que los refuerzos externos para los muros deben de ser de tipo vegetal, geomallas, dinteles de madera y/o mallas de sogas sintéticas.

El empleo de polímeros (geomallas) o de sogas sintéticas es imposible en zonas rurales y alejadas. La razón radica principalmente en el alto costo de este tipo de materiales además de que la comercialización o adquisición de estos no es común por lo que aun pudiendo contar con el presupuesto elevado que estos requieren no se puede asegurar el empleo de este material.

Sin embargo, las geomallas pueden ser reemplazadas por algún tipo de material que cumpla la función de reforzar los muros. En esta investigación se propone el uso de mallas metálicas reemplazando solamente el tipo de material en esta técnica. Las consideraciones para su uso son las mismas que para el uso de geomallas.

Como lo señala la norma E. 080 el refuerzo debe de aplicarse desde la base de los sobrecimientos hasta la viga collar si esta fuera empleada,

cuando no se emplea viga collar el refuerzo debe de llegar hasta el tope de los elementos estructurales.

Al igual que las geomallas, las mallas metálicas empleadas deben de estar embutidos con algún tipo de recubrimiento que garantice la protección de elementos externos para evitar efectos como la oxidación de la malla metálica. Una forma de ayudar a evitar la oxidación es usar materiales galvanizados o inoxidable cuyo costo es un poco mayor si afectar demasiado el costo final del proyecto.

Finalmente, el uso de mallas metálicas representa una buena elección con respecto a las geomallas por las facilidades que tiene para su acceso además de cumplir con la misma función estructural.

- **Diseño y características de los especímenes**

Para la investigación se desarrollaron 4 módulos de vivienda rural a escala reducida ocho veces. Dos de los módulos consisten en representaciones de viviendas hechas con bloques de adobe y los módulos restantes son la representación de un sistema constructivo de tierra apisonada (tapia). Se trabaja en una base de madera que representa la capa del suelo antes de la cimentación, para la cimentación se usa la de tipo pirca en los 4 módulos, no se usa cemento ni ningún material que pueda afectar la realidad de las auto construcciones rurales. Los bloques de adobe tienen una medida de 6 x 6 x 2 cm. y el ancho del encofrado del tapial es de 5 cm.

En tamaño real al igual que en los módulos elaborados, el refuerzo se coloca desde la parte superior de la cimentación hasta la altura máxima de los muros. El sistema de refuerzo consiste en una malla metálica con agujeros cuadrados de  $\frac{1}{2}$  pulgada por lado. Para anclar el refuerzo a la estructura de los módulos se utiliza alambre de amarre. Se debe de evitar cortar o separar la malla en su totalidad, solamente cuando sea estrictamente necesario por ejemplo en los vanos e inclusive en estos casos se debe de trabajar de tal manera que los corte realizados permitan utilizar la malla en el refuerzo de los mismos.

Los amarres o ajustes del refuerzo con la estructura deben de hacerse en espacios comprendidos entre 30 a 50 cm. ya que, si la separación es mayor, estos puntos pueden estar sometidos a más esfuerzos del que pueden soportar. Cuando el sistema de refuerzo es de geomalla se utilizan hilos de rafia para hacer la conexión del muro a la geomalla, cuando se usa mallas metálicas se debe de hacer un orificio con un cincel y comba suficiente para que entre un alambre de amarre y pueda anclar la malla a la estructura, los espacios dejados por la perforación de los muros debe de ser llenada de preferencia con un grout de concreto y si no se cuenta con los medios se debe de rellenar con barro del mismo tipo que el mortero que se trabajó.

En los especímenes realizados se trató de reflejar de manera más fiel posible las técnicas y procesos constructivos en zonas rurales, sin embargo, debido a las dimensiones de trabajo los ajustes de la malla metálica con la estructura que debe de ser rellenada con grout de concreto o mortero de barro no se pudo representar fielmente. Los traslapes necesarios en los bordes y los anclajes en los modelos se hicieron de tal forma de poder asegurar las mismas condiciones que se darían en viviendas autoconstruidas.

En la vida real un refuerzo de mallas metálicas, de ser necesario, tendría que tener un recubrimiento aislante por ejemplo un tarrajeo de cemento, si se utiliza materiales inoxidables el recubrimiento podría ser de barro o yeso. Si se da este último tipo de recubrimiento se tendría que tener en cuenta la protección contra lluvias en los muros para no afectar el recubrimiento.

### **2.3. Definición de términos**

- **Mallas metálicas**

Las mallas son estructuras formadas por el entrecruzamiento de filamentos, tienen diferentes usos en diversos ámbitos.

En la construcción las mallas son utilizados en diversas especialidades como por ejemplo la de asegurar y estabilizar taludes, seleccionar y separar material a usarse.

El uso más común que se le da es para realizar la clasificación de suelos, sin embargo, en la construcción se usa también para señalar y limitar los espacios entre propiedades.

Debido a las características de las aleaciones posibles que pueden realizarse, las mallas metálicas son más usadas para construcción que aquellas de fibras textiles.

- **Cortante basal**

Se denomina así a la fuerza total producida por eventos sísmicos en la base de la estructura.

*H* : Es la fuerza sísmica horizontal en la base de las edificaciones. (Ministerio de vivienda, construcción y saneamiento, 2017)

La energía liberada durante un sismo produce un movimiento en forma de ondas sobre el terreno, esto se traduce como una aceleración inducida a una estructura que cuenta con su propia masa y rigidez, por lo tanto, se transforma en una fuerza inercial.

La masa y la rigidez de una estructura determinan el periodo de vibración de la misma para una aceleración que produce vibraciones en el terreno.

La cortante suele ser representada por la letra **V**

- **Erosión**

En geología la erosión es el desgaste de los suelos por acciones hídricas, eólicas o de gravedad.

Partiendo de este concepto y estando las construcciones con tapias o adobe hechas íntegramente con materiales del suelo. La erosión en las estructuras de material rustico es el desgaste de los muros de

las mismas. En estos casos las fallas estructurales que pueden llegar a producirse son severas, en su etapa más temprana pueden presentarse como hundimientos o desniveles entre los muros de la estructura esto llega a ocasionar grietas y fisuras que terminan en el desplome de los muros si el problema no es tratado o prevenido.

- **Aceleración sísmica**

Es una medida utilizada en terremotos, consiste en la medición directa de la superficie del suelo, debido a que no cuantifican la energía liberada durante el terremoto, esta es una escala de intensidad. Se mide mediante equipos llamados acelerógrafos y es sencillo relacionar la aceleración con la escala de Mercalli.

Los efectos producidos por los terremotos son directamente proporcionales a la aceleración sísmica, a mayor severidad del sismo la aceleración sísmica es mayor por los daños causados son graves. La existencia de diversos tipos de edificación en una sola zona puede distorsionar las medidas de la intensidad del mismo.

Debido a la gran variedad de las construcciones sobre la superficie terrestre el cálculo de la aceleración se realiza mediante las ecuaciones de atenuación, existen alrededor de 18 ecuaciones de este tipo. Estas ecuaciones utilizan los parámetros de la magnitud local y la distancia focal.

- **Amplitud de onda**

Se define como amplitud de onda a la variación máxima de la distancia o alguna otra magnitud física que varía periódicamente en el tiempo.

Es la medida de la distancia perpendicular desde el punto más alejado de la onda hasta el punto de equilibrio (Thomson, 1982).

- **Periodo**

Es el intervalo de tiempo que tarda un movimiento en repetirse, cuando un movimiento tiene esta característica se le denomina movimiento periódico (Thomson, 1982).

La unidad de medida es el segundo (s) se puede identificar en una gráfica de movimiento oscilatorio midiendo el tiempo transcurrido entre dos puntos equivalentes y consecutivos de la función.

- **Frecuencia**

Es el valor de las repeticiones producidas en una unidad de tiempo, es el recíproco del valor del periodo (Thomson, 1982).

La unidad de medida es Hertz (hz), originalmente llamado ciclo por segundo otras unidades usadas comercialmente son las revoluciones por minuto rpm.

Una forma alternativa de calcular este valor es medir el tiempo entre dos puntos equivalentes. Luego dividir el número de repeticiones entre el tiempo transcurrido.

- **Frecuencia Natural**

Es la frecuencia a la que seguirá vibrando un sistema mecánico después de que se quita la señal de excitación, un ejemplo es el movimiento que tendrá una masa pendiendo de un resorte libremente (Thomson, 1982).

Conocido también como frecuencia de resonancia, esta denominación puede ser confusa ya que en los sistemas que tengan amortiguamiento la frecuencia natural varía de la frecuencia en la cual se produce resonancia.

- **Especímenes**

Para la investigación los módulos elaborados serán llamados especímenes y tendrán la siguiente codificación.

✓ Módulo de adobe tradicional	A T
✓ Módulo de adobe reforzado	A R
✓ Módulo de tapia tradicional	T T
✓ Módulo de tapia reforzada	T R

- **Adobe**

Bloque de tierra macizo sin cocer, puede contener algún otro material para mejorar sus características.

- **Mortero**

Material de unión entre adobes, generalmente de barro puede agregarse materiales que estabilicen las juntas entre adobes.

- **Arriostre**

Elementos que impiden el libre desplazamiento del muro, estos pueden ser verticales y horizontales.

- **Esbeltez**

Relación entre la altura libre y espesor del muro.

Cuando una estructura tiene una menor esbeltez, mayor ancho, es mucho más estable es por eso que independiente de la zona sísmica y el dimensionamiento del número de plantas de una estructura siempre se estipula un ancho mínimo para garantizar la estabilidad de las estructuras.

- **Tapial**

Bloque de tierra apisonada, con una proporción elevada de arenas y arcillas.

- **Hipocentro**

Punto exacto donde se empieza a producir las fuerzas de un sismo.

- **Epicentro**

Proyección vertical del hipocentro en la superficie terrestre.

Es en este punto donde el movimiento sísmico alcanza su mayor magnitud y por lo tanto sus efectos son mayores.

- **Sistema estructural**

Son todos los elementos en conjunto que conforman la estructura.

- **Refuerzo estructural**

Son los elementos no convencionales que ayudan a la estructura a tener un mejor comportamiento sísmico.

- **Diseño sismoresistente**

Es el diseño de las estructuras mediante el cual se busca: evitar la pérdida de vidas humanas, asegurar la continuidad de servicios y minimizar daño en las propiedades.

- **Onda sísmica**

Ondas producidas debido a la gran liberación de energía durante un sismo, energía que se proyecta en tres dimensiones a través de los cuerpos sólidos.

- **Falla estructural**

Deficiencias en la estructura que perjudican el diseño sismoresistente.

## **2.4. Hipótesis**

### **2.4.1. Hipótesis General**

Las viviendas rurales de material rustico con refuerzo estructural de mallas metálicas tienen un mejor comportamiento sísmico que las estructuras sin refuerzo.

### **2.4.2. Hipótesis Específica**

- a)** El proceso constructivo de viviendas rurales de material rustico reforzada con mallas metálicas es más eficiente que el proceso constructivo tradicional.
- b)** Las viviendas rurales de material rustico construidas tradicionalmente son muy vulnerables frente a eventos sísmicos.
- c)** Los parámetros sísmicos de las estructuras reforzadas y las tradicionales son similares.

## **2.5. Variables**

### **2.5.1. Definición conceptual de la variable**

- Variable independiente (X): Refuerzo estructural de mallas metálicas

Son las modificaciones que se hacen en las estructuras para que sean más resistentes a la actividad sísmica, también para evitar el deterioro de los materiales de los muros de la estructura. Gracias a que los materiales en construcciones de material rustico son reutilizables un refuerzo en estas estructuras debe de asegurarse principalmente de evitar pérdidas de vidas.

En esta investigación se usa un sistema de refuerzo consistente en mallas de fibras metálicas.

- Variable dependiente (Y): Comportamiento sísmico

La reacción de una estructura durante y después de un evento sísmico es importante para comprobar si una estructura está bien diseñada o

construida, además es indispensable que esta reacción sea la más óptima posible para minimizar el riesgo de los ocupantes de las viviendas, minimizar los daños en las estructuras y asegurar la continuidad de servicios básicos.

El comportamiento puede ser evaluado desde un enfoque cualitativo y un enfoque cuantitativo.

### **2.5.2. Definición operacional de la variable**

- Variable independiente (X): Refuerzo estructural de mallas metálicas

Un sistema de refuerzo aplicado correctamente ayuda a la estructura a mejorar su comportamiento sísmico de tal manera que cumpla con los principios del diseño sismoresistente. El comportamiento sísmico está íntimamente relacionado con los componentes estructurales por lo que la adición de uno o más resulta beneficioso para la estructura, sin embargo, la variedad de construcciones realizadas genera una gran variedad entre los sistemas de refuerzo.

En esta investigación se refuerza los componentes estructurales que vienen a ser los muros, estos son envueltos por mallas metálicas que previenen el desplome durante eventos sísmicos, además de proteger los materiales de la construcción.

- Variable dependiente (Y): Comportamiento sísmico

Durante un evento sísmico, una estructura es sometida a grandes esfuerzos que pueden dejar modificaciones que perjudiquen su comportamiento, estas modificaciones son las fallas estructurales.

Los especímenes elaborados serán sometidos a ensayos que consistirán en la aplicación de esfuerzos a la estructura para simular los efectos de un sismo para observar así los efectos producidos.

Se simulará eventos sísmicos para evaluar parámetros tanto cuantitativos como cualitativos.

### 2.5.3. Operacionalización de los variables

VARIABLES	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES
Variable independiente (X): Refuerzo estructural de mallas metálicas	Refuerzos añadidos al sistema constructivo, puede ser empleado en viviendas nuevas y viviendas existentes.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Construcción con criterios de diseño sismoresistente.</li> <li>• Aplicación o acondicionamiento, dependiendo de la vivienda.</li> <li>• Mantenimiento y/o protección del sistema</li> </ul>	Refuerzo en cimientos	Aplicación del refuerzo en cimientos
			Refuerzo en muros	Fijación del refuerzo a muros
			Preservación	Acabados
Variable dependiente (Y): Comportamiento sísmico	Los efectos que produce un movimiento sísmico en las viviendas así como la reacción de estas.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Simulación de movimientos sísmicos.</li> <li>• Evaluación de parámetros sísmicos.</li> <li>• Evaluación cualitativa del estado de los especímenes</li> </ul>	Enfoque cuantitativo	Parámetros sísmicos
			Enfoque cualitativo	Fallas estructurales

## **CAPITULO III METODOLOGÍA**

### **3.1. Método de investigación**

En la presente investigación se utilizará el método científico, con todos sus pasos partiendo desde la observación de un problema hasta la experimentación y publicación de resultados.

### **3.2. Tipo de investigación**

El tipo de investigación es aplicada, la finalidad de la presente es dar solución a la problemática observada en el capítulo I, el aporte de conocimiento teórico es secundario. (Sanchez & Meza, 2006) p. 222

Los enfoques cuantitativo y cualitativo no son mutuamente excluyentes (Rodriguez, Mezquita, & Pérez, 2008) p. 224, por lo que se usara un enfoque mixto en esta investigación.

### **3.3. Nivel de la investigación**

La investigación relaciona la modificación de la variable: comportamiento sísmico; con la presencia de la variable: refuerzo estructural de mallas metálicas.

Por lo que esta es una investigación de nivel correlacional. La utilidad y el propósito principal de los estudios correlacionales son saber cómo se puede comportar un concepto o variable conociendo el comportamiento de otras variables relacionadas. Es decir, intentar predecir el valor aproximado que tendrá un grupo de individuos en una variable, a partir del valor que tiene en la variable relacionada. (Hernandez, Fernandez, & Baptista, 1999) p. 63

### **3.4. Diseño de investigación**

El diseño a utilizar es el diseño experimental puro con un estudio únicamente post-prueba, cuyo diagrama es el siguiente.

$$O_e \rightarrow X_1 \rightarrow M_1$$

$$O_c \rightarrow -X_1 \rightarrow M_2$$

Dónde:

- $O_e$  = Modelo experimental.
- $O_c$  = Modelo de control.
- $X_1$  = Estimulo de la variable independiente.
- $-X_1$  = Ausencia de estímulo.
- $M_1$  = Medición de la variable dependiente en el grupo experimental.
- $M_2$  = Medición de la variable dependiente en el grupo de control.

### 3.5. Población y muestra

- **Población**

Para la presente investigación la población consiste en todas las viviendas de material rustico autoconstruidas en las zonas rurales andinas de la región Junín.

- **Muestra**

El muestreo es no aleatorio o dirigido se considera entre todos los conjuntos de viviendas rurales de material rustico las viviendas hechas con bloques de adobe y las de tierra apisonada (tapial) del centro poblado de Aza Cruz del distrito de Cullhuas de la provincia de Huancayo. Cuya composición sea la de módulos de un área máxima de 25 m<sup>2</sup> que representan un aproximado de 72.5% del total de viviendas rurales.

### 3.6. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Al realizar el muestreo de la población se asumen características y condiciones de los especímenes por lo que los datos a evaluar nacen a partir de los especímenes es así que tenemos.

- **Instrumentos**

Para la evaluación de las distintas etapas de la investigación se prepararon distintas fichas de autoría propia (Anexo 2) que serán validados por especialistas.

En total son tres fichas en las que se evaluara el estado estructural de los especímenes.

Los ensayos ser realizan en el hexápodo electromecánico de la marca Aries, este equipo en su versión académica se encuentra en el laboratorio de estructuras de la facultad de Ingeniería de la UPLA.

**Tabla N° 4**

**Especificaciones del hexápodo electromecánico**

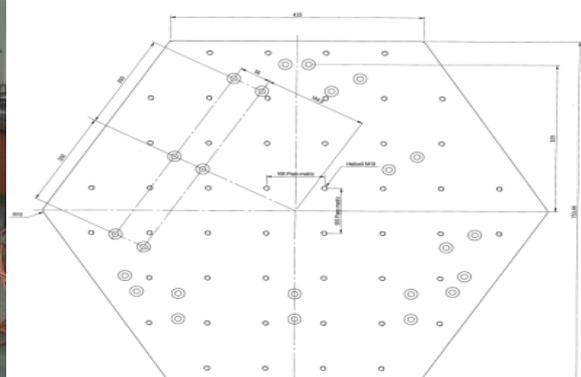
Fabricante	ARIES INGENIERÍA Y SISTEMAS S.A.
Nombre de la maquina	Servohydro Advanced Digital Controller
Año de fabricación	2013

**Fuente: Adaptado de (ARIES INENIERIA Y SISTEMAS S.A., s.f.) Manual de usuario y mantenimiento del servohydro advanced (p. 4)**

La plataforma sobre la cual se realizan los ensayos de aluminio con forma de un hexápodo, diámetro es de 1.3 m; un peso de 20 Kg. y soporta hasta un máximo de 300 Kg. Según las referencias del manual de usuario y mantenimiento. Los especímenes son anclados a la plataforma utilizando tornillos M10.

El Hexápodo electromecánico contiene adicionalmente doce acelerómetros para la recolección de datos, sin embargo, estos no se encontraban operativos, por lo que los ensayos serán evaluados cualitativamente.

**Figura N° 19**  
**Dimensiones del hexápodo electromecánico**



**Fuente: Propia**

Los datos serán recolectados mediante la observación experimental, se controlará los movimientos sísmicos y se observará los efectos en los especímenes. Mediante un cuestionario se podrá observar los principales resultados de los ensayos.

La interpretación de los gráficos otorgados por el software permitirá comprender mejor la realidad que se representa en los ensayos.

### **3.7. Procesamiento de la información**

- **Fase de pre campo**

- ✓ **Solución planteada**

Ante la problemática detallada en el capítulo I se empezó a revisar soluciones que sean adecuadas para el entorno sobre el cual se trabaja. Un proyecto reciente desarrollado por FONCODES denominado programa MI ABRIGO aborda el refuerzo estructural de viviendas de material rústico, sin embargo, los costos por vivienda son elevadísimos siendo imposibles de solventar para una persona natural aun en zonas urbanas.

Es así que se prosiguió investigando alternativas propuestas, desde cambiar el sistema constructivo o usar mallas electro soldadas, todas estas alternativas son eficientes, pero al igual que en el caso del programa MI ABRIGO tienen un presupuesto elevado por lo que su difusión y aplicación se ve limitada.

Se planteó por lo tanto un sistema que pueda ser replicado fácilmente tanto desde el punto de vista económico, así como a facilidad de adquisición de materiales.

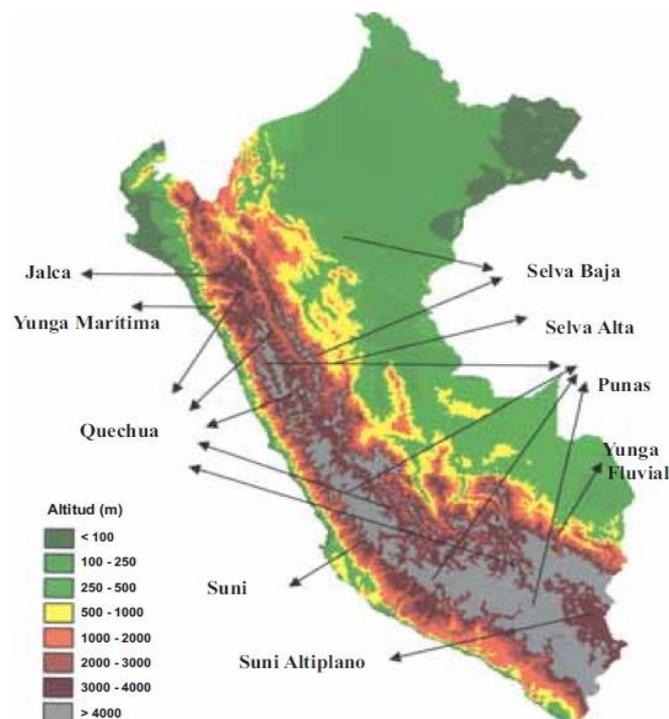
- ✓ **Ubicación del área de estudio**

El área de estudio son todas las zonas andinas de la región Junín y regiones aledañas que tengan una vulnerabilidad sísmica igual o mayor.

Las regiones que tengan una vulnerabilidad sísmica igual o mayor se determinan según el mapa de zonificación sísmica de la norma E. 030.

En las zonas rurales con una altitud mayor de 3000 m.s.n.m. y especialmente en zonas alto andinas se tiene preferencia por la construcción con material de tierra sin cocer por las ventajas que se explican en el capítulo I.

**Figura N° 20**  
**Mapa del Perú con alturas en m.s.n.m.**



**Fuente: (Alvarez, 2017)**

- **Fase de campo**

- ✓ Tipos de vivienda rural

En la región Junín y en el Perú en general el porcentaje de población en zonas rurales y de escasos recursos es de más del 20%. En estas condiciones el tipo de vivienda que más abunda es la de material rustico ya sea en la técnica de construcción con albañilería de adobe o la técnica de tierra apisonada, tapial, es así que la investigación se

desarrollara con estas dos técnicas de construcción para lograr un resultado significativo.

✓ **Elaboración de los especímenes**

○ **Selección de material**

Para recrear fielmente una construcción tradicional de las viviendas se utilizaron bloques de adobe destinados a la construcción de viviendas. Gracias a que los materiales en estas construcciones son reutilizables se procedió a la destrucción de estos bloques y selección del material.

La tierra obtenida se tamizo con una malla comercial para eliminar partículas y elementos indeseables en los bloques de adobe, es así que se pudo hacer estas observaciones sobre los bloques de adobe:

- Presencia de materiales orgánicos.
- Piedras de tamaño mayor al recomendado.
- Contaminantes inorgánicos (vidrios, plásticos).

**Figura Nº 21**

**Selección de material para la elaboración de especímenes**



**Fuente: Propia**

- **Elaboración de bloques y encofrados**

En concordancia con la norma E. 080 que dice que cualquier modificación con respecto a las dimensiones mencionadas debe de ser validada mediante ensayos dinámicos. Se elaboró moldes de madera con dimensiones de 6x6x2 cm. Para los adobes en una escala de 1:8.

Para los encofrados de tierra apisonada o tapial se trabajó con un encofrado monolítico para toda la construcción. Este tipo de encofrado es el ideal en este tipo de construcciones, aunque en realidad del encofrado se realiza por partes, debido a las dimensiones del espécimen se consideró más conveniente trabajar con ese tipo de encofrado.

Una observación que se pudo realizar es la ausencia de estabilizadores en los bloques (paja) por lo que se añadió este elemento en la elaboración de los especímenes en las proporciones recomendadas.

**Figura Nº 22**

**Bloques y encofrado elaborados**



**Fuente: Propia**

- **Proceso constructivo con refuerzo estructural de mallas metálicas**

En una vivienda de tamaño real el proceso constructivo con mallas metálicas es en teoría más sencillo de aplicar, esto debido a que el espacio de trabajo es mayor y las herramientas convencionales son adecuadas para el trabajo.

En los especímenes elaborados se respetó el concepto básico del refuerzo estructural de mallas metálicas, que es el de envolver el muro y anclarlo a su cimentación. Sin embargo, al momento de asegurar la malla metálica a los muros se tuvo que cambiar la idea de asegurarlo en puntos ubicados en ambas caras de los muros. En los especímenes se aseguró la malla a los muros usando distintos puntos de amarre esto debido a la fragilidad de los materiales y los inconvenientes naturales cuando se trabaja con modelos reducidos.

A pesar de las dificultades el resultado final es el deseado por lo que los especímenes se encuentran listos para los ensayos.

En los cimientos se utilizó un marco de madera relleno con muestra de suelo sobre la cual se construyó los cimientos de todos los especímenes.

**Figura N° 23**

**Cimentación de los especímenes**



**Fuente: Propia**

Para la construcción con tierra apisonada (tapial) se ensambló el encofrado sobre los cimientos, en el espécimen que tiene el refuerzo estructural de malla metálica se coloca la malla inmediatamente después del nivel de cimentación. En este espécimen en particular se procuró no hacer cortes transversales totales es decir que fue una sola pieza de malla metálica que envolvió los 4 muros.

Sin embargo surgieron complicaciones a la hora de fijar la malla a los muros desencofrados por lo que se tuvo que hacer algunos cortes.

**Figura N° 24**

### **Proceso constructivo de los especímenes de tapial**



**Fuente: Propia**

Para la construcción con bloques de adobe se procedió de forma tradicional teniendo cuidado con las juntas y con los amarres en las esquinas, una dificultad fue hacer las juntas en tamaño de escala debido a que esta se reduce hasta casi 0.4 mm no se pudo representar fielmente esta dimensión.

Con la experiencia de las dificultades del uso de la malla metálica en el espécimen de tapial, en este se prefirió utilizar 4 piezas de mallas metálicas las cuales se procedió a asegurar después con traslapes en las esquinas.

**Figura N° 25**

### **Proceso constructivo de los especímenes de adobe**



**Fuente: Propia**

Las dificultades encontradas durante el proceso constructivo de especímenes reforzados con mallas metálicas pudieron ser solucionadas obteniendo los resultados deseados, sin embargo, en una construcción real se estima que las dificultades encontradas en el trabajo a escala no serán tan problemáticas como lo fueron durante la investigación.

Finalmente se cortó la malla en los vanos y se utilizaron estos retazos para asegurar los mismos.

**Figura N° 26**

### **Especímenes de reforzados**



**Fuente: Propia**

### ✓ **Fallas estructurales en viviendas rusticas**

En las viviendas rurales de material rustico se pueden observar constantemente fallas estructurales, estas son de una gran variedad y así mismo tienen diversas causas. Las fallas estructurales que son más importantes para esta investigación son las grietas o fisuras.

Entre este tipo de fallas algunas son ocasionadas por problemas con el suelo o con los cimientos, estas fallas no tienen relevancia para la investigación, aquellas grietas o fisuras ocasionadas por eventos sísmicos o mal proceso constructivo son a las que se debe de prestar más atención puesto que el refuerzo estructural de mallas metálicas busca evitar y/o controlar estas fallas antes de generar desplomes u otras consecuencias.

### ✓ **Comportamiento sísmico de los especímenes**

#### ○ **Especímenes sin refuerzo estructural**

Se elaboraron dos especímenes sin refuerzo estructural, una representación de la construcción con bloques de adobe y otra representación de la construcción de tierra apisonada.

Estos especímenes fueron sometidos a ensayos en el hexápodo vibratorio y los resultados obtenidos fueron analizados posteriormente.

#### ○ **Especímenes con refuerzo estructural**

Así como se elaboró los especímenes sin refuerzo también se fabricaron especímenes con un refuerzo estructural de mallas metálicas. A estos últimos se les hizo un revestimiento con yeso, lo ideal es hacer un tarrajeo con mortero de cemento, el yeso al ser un material menos resistente permitirá observar la presencia de fallas estructurales. La función del revestimiento exterior es la de proteger los materiales usados en la construcción de estas viviendas.

- **Ensayo en el hexápodo vibratorio**

El hexápodo vibratorio es un equipo que representa los movimientos sísmicos sobre una superficie a la cual se sujeta los especímenes.

El hexápodo puede simular movimientos en 6 grados de libertad, para este ensayo se usará 3, el de los ejes X, Y & Z. El equipo representa en movimiento sísmico en base a la función de Amplitud y frecuencia (mm vs Hertz).

Debido a las dificultades presentadas para el manejo del hexápodo se utilizar datos preestablecidos en la configuración del equipo, en dos de los grados de libertad (X, Y) se utiliza funciones armónicas que producen el movimiento oscilatorio deseado, para el tercer grado de libertad se utiliza un componente periódico. Todos estos datos fueron preestablecidos en la configuración del equipo y representan datos similares a los registros sísmicos de la región.

- **Fase de gabinete**

- ✓ **Datos de ensayos realizados**

Para realizar el cálculo del movimiento armónico es necesario analizar las funciones que representan estos movimientos.

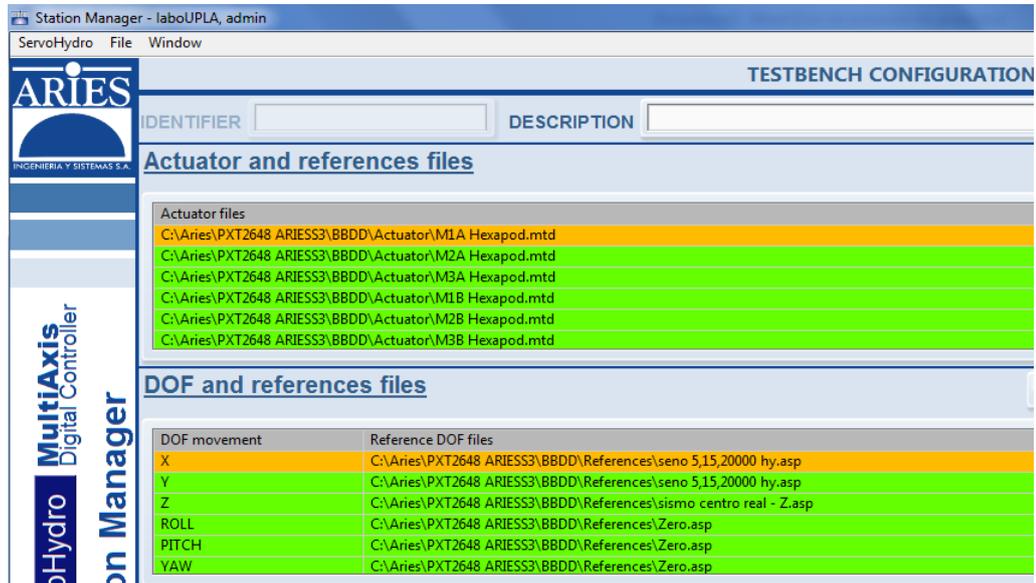
Para esto analizamos los componentes de ambos ensayos

- **Primer ensayo**

Los datos de las funciones del primer ensayo son los siguientes.

Figura N° 27

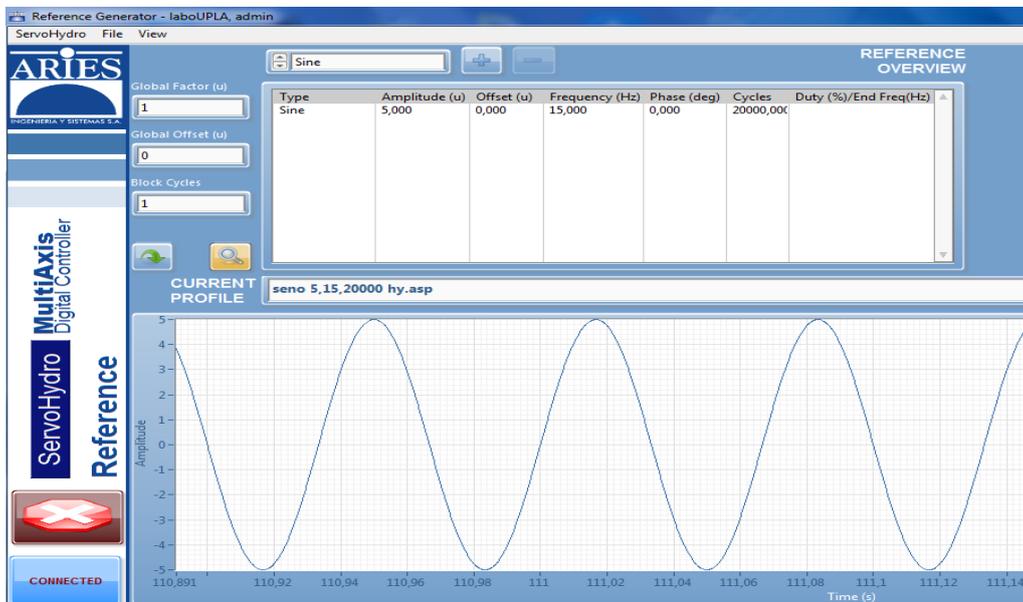
Datos de las funciones del primer ensayo



Fuente: Laboratorio de estructuras UPLA

Figura N° 28

Componentes X, Y del primer ensayo



Fuente: Laboratorio de estructuras UPLA

De donde se puede observar que las componentes de (X & Y) son idénticas y sus dimensiones son.

- Amplitud = ( $u$ ) = 5mm
- Frecuencia = ( $f$ ) = 15 Hz
- Ciclos = 20000

Es así que con estos datos podemos calcular el movimiento velocidad y aceleración con respecto a la función.

Se halla el periodo de la función gracias a la frecuencia

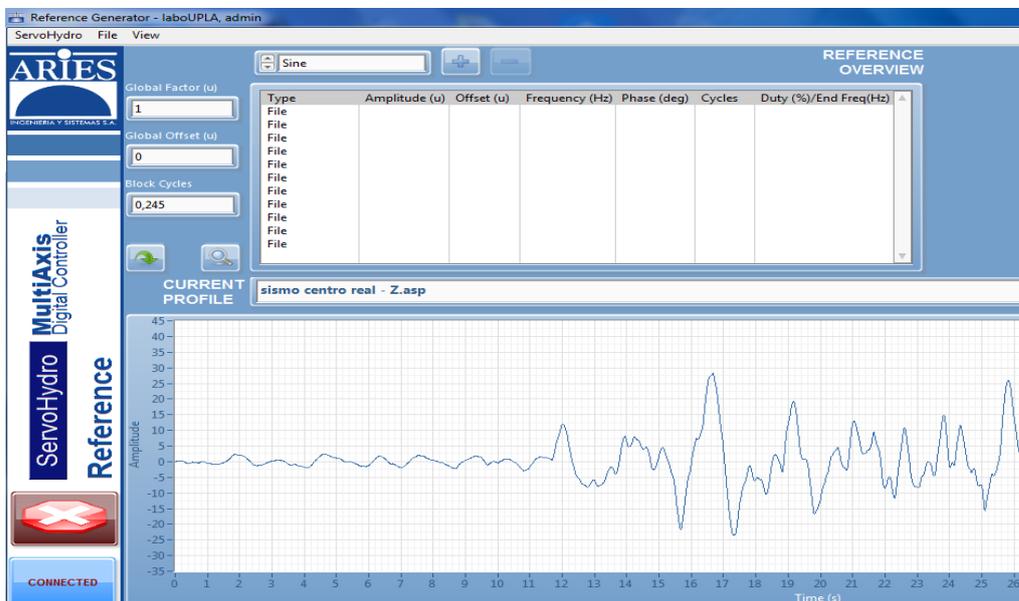
- $T = \frac{1}{f}$
- $T = \frac{1}{15\text{Hz}}$
- $T = 0.06667 \text{ s}$

Después calculamos la frecuencia angular ( $\omega$ ) de estas funciones.

- $\omega = 2 * \frac{\pi}{T} = 2 * \pi * f$
- $\omega = 2 * \pi * 15$
- $\omega = 94.24778 \text{ rad/s}$

**Figura N° 29**

### Componente Z primer ensayo



**Fuente: Laboratorio de estructuras UPLA**

Debido a que no se puede encontrar los datos de la función del componente en Z se sumirá valores críticos que simulen una situación peligrosa para una vivienda de material rústico. Para

esto se debe de tener en consideración que un periodo corto es más peligroso para estructuras de estas características. Por lo tanto, se asumirá un periodo igual al de las otras componentes y una amplitud de onda promedio entre todos los picos de amplitud de la función. El software no muestra todos los ciclos por lo que los datos recopilados son aquellos más representativos. Y de esta manera se trabajará como un movimiento armónico.

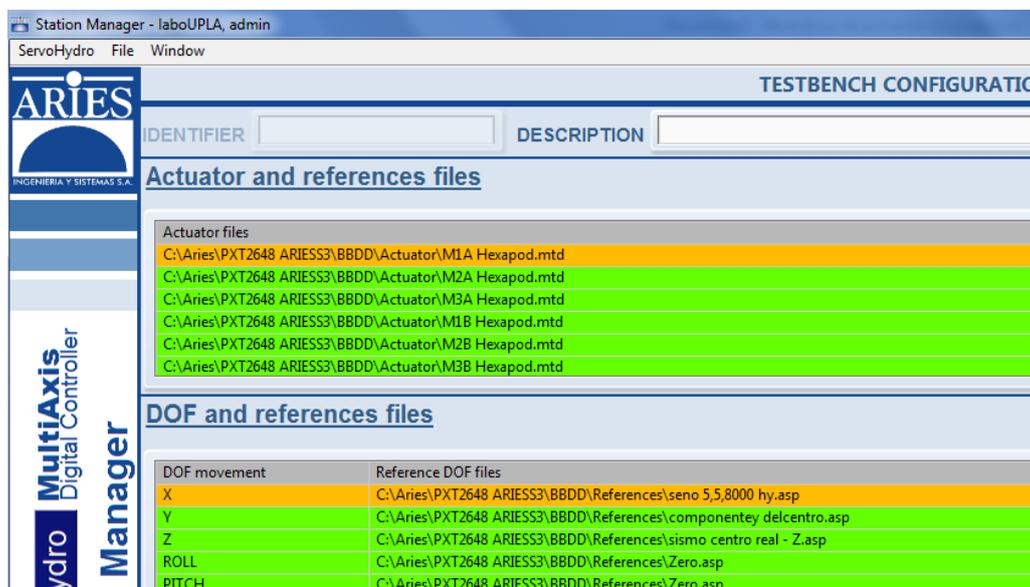
Los datos del componente Z serán:

- *Amplitud* = ( $u$ ) = 15mm
- *Frecuencia* = ( $f$ ) = 15 Hz
- *Ciclos* = 20000
- $T = 0.06667$  s
- $\omega = 94.24778$  rad/s

o **Segundo ensayo**

En el segundo ensayo se simularon datos que someten a la estructura a esfuerzos mayores, los siguientes son sus datos.

**Figura N° 30**

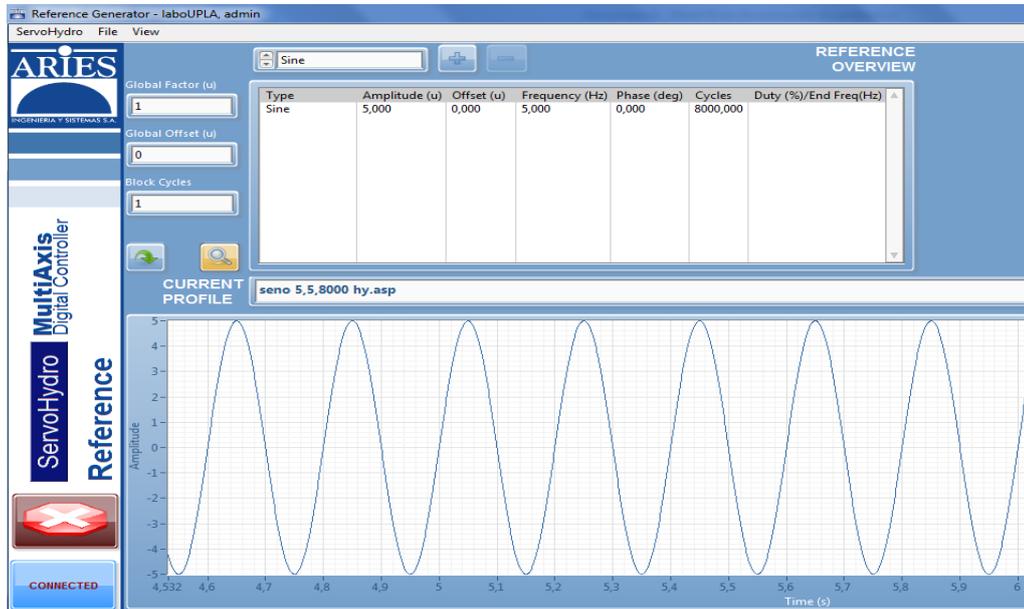


**Datos de las funciones del segundo ensayo**

**Fuente: Laboratorio de estructuras UPLA**

Figura N° 31

Componente X del segundo ensayo

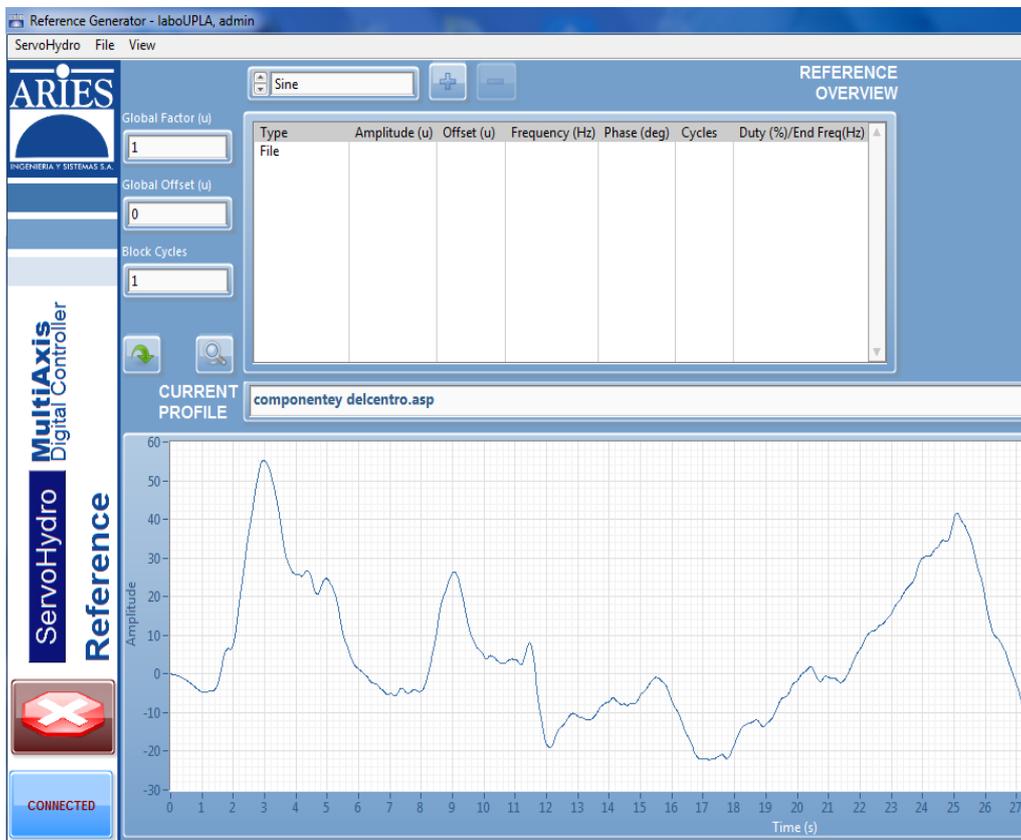


Fuente: Laboratorio de estructuras UPLA

En el componente X los datos de la función son idénticos a los del primer ensayo, por lo tanto:

- $Amplitud = (u) = 5mm$
- $Frecuencia = (f) = 15 Hz$
- $Ciclos = 20000$
- $T = 0.06667 s$
- $\omega = 94.24778 rad/s$

**Figura N° 32**  
**Componente Y del segundo ensayo**

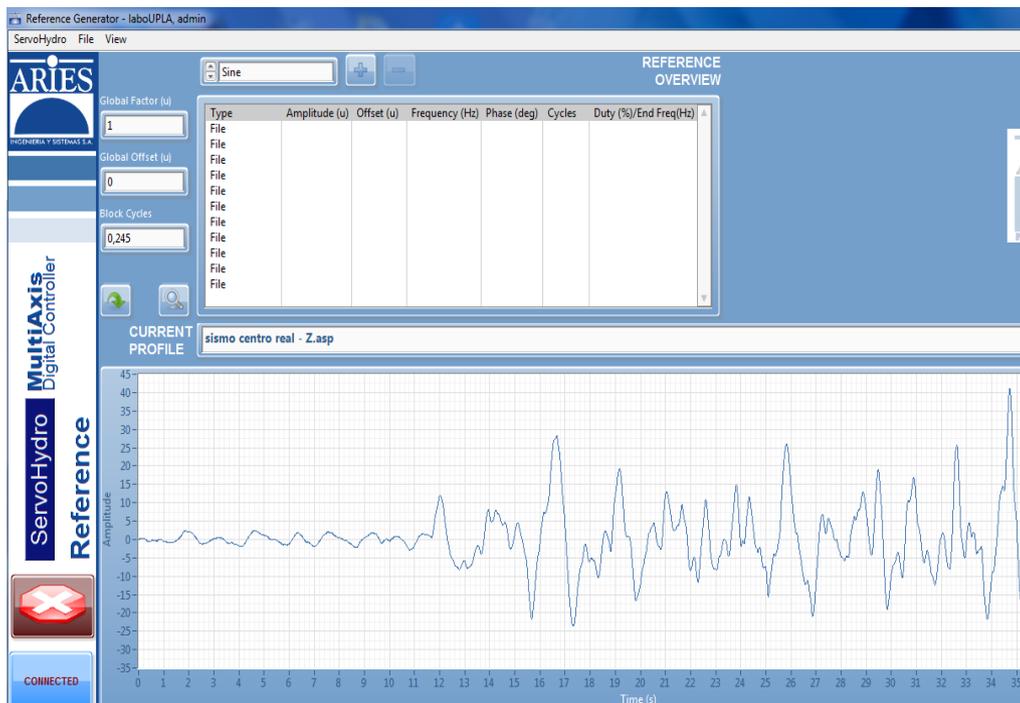


**Fuente: Laboratorio de estructuras UPLA**

Al igual que con la componente Z del primer ensayo los datos son tratados para trabajar un movimiento armónico simple, siguiendo los mismos criterios se obtiene para la componente Y:

- $Amplitud = (u) = 35mm$
- $Frecuencia = (f) = 15 Hz$
- $Ciclos = 20000$
- $T = 0.06667 s$
- $\omega = 94.24778 rad/s$

**Figura N° 33**  
**Componente Z del segundo ensayo**



**Fuente: Laboratorio de estructuras UPLA**

Finalmente, para la componente Z se tiene los mismos datos que en el primer ensayo.

- *Amplitud = (u) = 15mm*
- *Frecuencia = (f) = 15 Hz*
- *Ciclos = 20000*
- *T = 0.06667 s*
- *$\omega = 94.24778 \text{ rad/s}$*

El análisis de los datos nos indica que el ensayo realizado es una representación de un sismo de categoría VII en la escala de Mercalli.

✓ **Calculo del Movimiento Armónico**

Las ecuaciones del movimiento armónico que serán de utilidad para el análisis de los datos son:

- Desplazamiento  $\rightarrow x = A * \sin(\omega * t)$
- Velocidad  $\rightarrow \dot{x} = \omega * A * \cos(\omega * t)$

$$\dot{x} = \omega * A * \sin(\omega t + \frac{\pi}{2})$$

- Aceleración  $\rightarrow \ddot{x} = -\omega^2 * A \sin(\omega * t)$

$$\ddot{x} = \omega^2 * A \sin(\omega * t + \pi)$$

$$\ddot{x} = -\omega^2 * x$$

Con las ecuaciones y los componentes de cada función conocidos se calcula los valores críticos de velocidad y aceleración, es decir, velocidad y aceleración máxima. En el caso de la velocidad máxima esta se da en el punto de equilibrio ( $x = 0$ ) y decrece progresivamente hasta llegar a la cresta de la onda. La aceleración en cambio alcanza su máxima expresión cuando el movimiento se encuentra en las crestas de las ondas ( $x = A$ ) y va decreciendo progresivamente hasta llegar a los puntos de equilibrio.

Por lo tanto, los valores críticos son:

### Cuadro Nº 1

#### Aceleración máxima del primer ensayo

G.D.L.	Velocidad	Velocidad máxima	Aceleración	Aceleración máxima
X	$\dot{x} = \omega * A * \cos(\omega * t)$ $\dot{x}_{max} = \omega * A$	0.47123 m/s	$\ddot{x} = -\omega^2 * x$ $\ddot{x}_{max} = -\omega^2 * A$	$-44.41233m/s^2$
Y	$\dot{x} = \omega * A * \cos(\omega * t)$ $\dot{x}_{max} = \omega * A$	0.47123 m/s	$\ddot{x} = -\omega^2 * x$ $\ddot{x}_{max} = -\omega^2 * A$	$-44.41233m/s^2$
Z	$\dot{x} = \omega * A * \cos(\omega * t)$ $\dot{x}_{max} = \omega * A$	1.41371 m/s	$\ddot{x} = -\omega^2 * x$ $\ddot{x}_{max} = -\omega^2 * A$	$-133.24m/s^2$

Fuente: Propia

El análisis de los datos nos indica que el ensayo realizado es una representación de un sismo de categoría VII en la escala de Mercalli.

## Cuadro Nº 2

### Aceleración máxima del segundo ensayo

G.D.L.	Velocidad	Velocidad máxima	Aceleración	Aceleración máxima
X	$\dot{x} = \omega * A * \cos(\omega * t)$ $\dot{x}_{max} = \omega * A$	0.47123 m/s	$\ddot{x} = -\omega^2 * x$ $\ddot{x}_{max} = -\omega^2 * A$	-44.41233m/s <sup>2</sup>
Y	$\dot{x} = \omega * A * \cos(\omega * t)$ $\dot{x}_{max} = \omega * A$	3.3 m/s	$\ddot{x} = -\omega^2 * x$ $\ddot{x}_{max} = -\omega^2 * A$	-310.9m/s <sup>2</sup>
Z	$\dot{x} = \omega * A * \cos(\omega * t)$ $\dot{x}_{max} = \omega * A$	1.41371 m/s	$\ddot{x} = -\omega^2 * x$ $\ddot{x}_{max} = -\omega^2 * A$	-133.24m/s <sup>2</sup>

**Fuente: Propia**

El análisis de los datos nos indica que el ensayo realizado es una representación de un sismo de categoría IX en la escala de Mercalli.

#### ✓ Evaluación de parámetros sísmicos

El proceso de evaluación de parámetros sísmicos es el siguiente.

##### ○ Cortante basal máximo (V)

La fuerza actuante se obtendrá restando de la fuerza que acciona la mesa vibratoria, el producto de la aceleración de la mesa por la suma de las masas del módulo y cimentación del módulo. (Zegarra, Quiun, & San Bartolome, 2003)

Debido a los contratiempos presentados con los acelerómetros que no permitieron recabar los datos deseados de desplazamiento de la estructura, el cálculo se realizó con los datos obtenidos a partir del análisis de las funciones de las ondas de movimiento en cada uno de los grados de libertad.

Por lo tanto, el valor de la fuerza cortante será igual al producto de la aceleración por la masa del módulo. Se aplicará el principio de la segunda ley de Newton.

$$V = m * a$$

Para conseguir el valor máximo de la fuerza cortante se usará el valor máximo de la aceleración alcanzada.

Los pesos específicos de cada tipo de construcción son.

- Adobe → 1600 kg/m<sup>3</sup> (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2006)
- Tapia → 1900 kg/m<sup>3</sup> (Tejada, Mendoza, & Torrealva, 2013)

Los especímenes elaborados tienen un diseño cuadrado de 50 cm. de lado, a continuación, se detalla el peso de cada módulo.

### Cuadro Nº 3

#### Masa de los especímenes

Modulo	L (cm)	A (cm)	H (cm)	#	P. E. (Kg/m3)	S.R. (Kg)	Total (Kg)
A T	50	6	25	2	1600	0	42.24
	38	6	25	2	1600		
A R	50	6	25	2	1600	3	45.24
	38	6	25	2	1600		
T T	50	6	25	2	1900	0	50.16
	38	6	25	2	1900		
T R	50	6	25	2	1900	3	53.16
	38	6	25	2	1900		

**Fuente: Propia**

Con los datos de masa de los especímenes se puede calcular la cortante basal máxima en cada grado de libertad durante los ensayos realizados.

#### Cuadro N° 4

##### Cortante basal – Primer ensayo

Modulo	Masa (Kg)	G.D.L.	Acel. (m/s <sup>2</sup> )	V (N)
A T	33.12	X	44.41	1470.86
		Y	44.41	1470.86
		Z	133.24	4412.91
A R	36.12	X	44.41	1604.09
		Y	44.41	1604.09
		Z	133.24	4812.63
T T	39.33	X	44.41	1746.65
		Y	44.41	1746.65
		Z	133.24	5240.33
T R	42.33	X	44.41	1879.88
		Y	44.41	1879.88
		Z	133.24	5640.05

Fuente: Propia

#### Cuadro N° 5

##### Cortante basal – Segundo ensayo

Modulo	Masa (Kg)	G.D.L.	Acel. (m/s <sup>2</sup> )	V (N)
A T	33.12	X	44.41	1470.86
		Y	310.9	10297.01
		Z	133.24	4412.91
A R	36.12	X	44.41	1604.09
		Y	310.9	11229.71
		Z	133.24	4812.63
T T	39.33	X	44.41	1746.65
		Y	310.9	12227.70
		Z	133.24	5240.33
T R	42.33	X	44.41	1879.88
		Y	310.9	13160.40
		Z	133.24	5640.05

Fuente: Propia

##### ○ Coeficiente sísmico (C)

Para calcular el coeficiente sísmico se divide el valor de la fuerza cortante entre el peso del espécimen, se hará el análisis para cada uno de los grados de libertad en los dos ensayos.

$$C = \frac{V}{P}$$

**Cuadro Nº 6**

**Coefficiente sísmico – Primer ensayo**

Modulo	G.D.L.	V (N)	Masa (Kg)	Peso(N)	C
A T	X	1470.86	33.12	324.80	4.53
	Y	1470.86			4.53
	Z	4412.91			13.59
A R	X	1604.09	36.12	354.22	4.53
	Y	1604.09			4.53
	Z	4812.63			13.59
T T	X	1746.65	39.33	385.70	4.53
	Y	1746.65			4.53
	Z	5240.33			13.59
T R	X	1879.88	42.33	415.12	4.53
	Y	1879.88			4.53
	Z	5640.05			13.59

**Fuente: Propia**

**Cuadro Nº 7**

**Coefficiente sísmico – Segundo ensayo**

Modulo	G.D.L.	V (N)	Masa (Kg)	Peso(N)	C
A T	X	1470.86	33.12	324.80	4.53
	Y	10297.01			31.70
	Z	4412.91			13.59
A R	X	1604.09	36.12	354.22	4.53
	Y	11229.71			31.70
	Z	4812.63			13.59
T T	X	1746.65	39.33	385.70	4.53
	Y	12227.70			31.70
	Z	5240.33			13.59
T R	X	1879.88	42.33	415.12	4.53
	Y	13160.40			31.70
	Z	5640.05			13.59

**Fuente: Propia**

○ **Frecuencia natural ( $\omega_n$ )**

La frecuencia natural es indispensable para evaluar alguna posible resonancia, y de darse el caso verificar la efectividad del sistema de refuerzo. El cálculo de la frecuencia natural se realiza mediante la siguiente formula.

$$\omega_n = \sqrt{\frac{K}{m}}$$

Dónde:

- $K$  : Coeficiente de rigidez
- $m$  : Masa

El cálculo de la rigidez de los muros para un sistema de albañilería se da según la siguiente formula.

$$K_{muro} = \frac{E * t}{4\left(\frac{h}{L}\right)^3 + 3\left(\frac{h}{L}\right)}$$

Dónde:

- $E$  → Módulo de elasticidad
- $t$  → Espesor del muro
- $h$  → Altura del muro
- $L$  → Longitud del muro

Los valores del módulo de elasticidad para las construcciones de adobe y tapial son

- Adobe →  $1700 \text{ Kg/cm}^2$  (Salvador, 2006)
- Tapia →  $250 \text{ MPa} \rightarrow 2549 \text{ Kg/cm}^2$  (Arto, 2014)

### Cuadro N° 8

#### Rigidez de los especímenes de adobe

MURO	E (kg/cm <sup>2</sup> )	t (cm)	h (cm)	L (cm)	K (Kg/cm)
I	1700	6	25	50	5100.00
II		6	25	38	3276.90
III		6	25	50	5100.00
IV		6	25	38	3276.90

Fuente: Propia

### Cuadro N° 9

#### Rigidez de los especímenes de tapial

MURO	E (kg/cm <sup>2</sup> )	t (cm)	h (cm)	L (cm)	K (Kg/cm)
I	2549	6	25	50	7647.00
II		6	25	38	4913.42
III		6	25	50	7647.00
IV		6	25	38	4913.42

Fuente: Propia

Finalmente, el cálculo de las frecuencias naturales de los componentes de la estructura.

### Cuadro N° 10

#### Frecuencia natural del espécimen A T

MURO	K (Kg/cm)	m (Kg)	$\omega_n$ (hz)
I	5100.00	12	20.62
II	3276.90	9.12	18.96
III	5100.00	12	20.62
IV	3276.90	9.12	18.96

Fuente: Propia

### Cuadro N° 11

#### Frecuencia natural del espécimen A R

MURO	$K$ (Kg/cm)	$m$ (Kg)	$\omega_n$ (hz)
I	5100.00	12.75	20.00
II	3276.90	9.87	18.22
III	5100.00	12.75	20.00
IV	3276.90	9.87	18.22

Fuente: Propia

### Cuadro N° 12

#### Frecuencia natural del espécimen T T

MURO	$K$ (Kg/cm)	$m$ (Kg)	$\omega_n$ (hz)
I	7647.00	14.25	23.17
II	4913.42	10.83	21.30
III	7647.00	14.25	23.17
IV	4913.42	10.83	21.30

Fuente: Propia

### Cuadro N° 13

#### Frecuencia natural del espécimen T R

MURO	$K$ (Kg/cm)	$m$ (Kg)	$\omega_n$ (hz)
I	7647.00	15	22.58
II	4913.42	11.58	20.60
III	7647.00	15	22.58
IV	4913.42	11.58	20.60

Fuente: Propia

### 3.8. Técnicas y análisis de datos

El procesamiento de la información obtenida de los ensayos se utilizará tablas de datos para recabar información obtenida a través de las fichas de evaluación.

El software es el proporcionado por la empresa *Aries Servohydro* y es operado por los responsables del laboratorio de estructuras. El software del equipo empleado trabaja con usuarios y permisos, por lo que ciertas funciones no son

posibles de utilizar, debido a esto se utilizó datos pre programados a los que se tenía acceso en la base de datos del laboratorio.

Las fallas estructurales se representarán en ilustraciones, los módulos serán comparados entre sí mediante planos.

## **CAPITULO IV RESULTADOS**

- **Resultados Específicos**

- a) **Identificar las diferencias entre el proceso constructivo tradicional y el proceso constructivo con refuerzo estructural de mallas metálicas.**

Revisada la bibliografía y conocido el proceso constructivo adecuado, se establece las modificaciones que tendrá el proceso constructivo al añadir el refuerzo estructural de mallas metálicas.

Si bien las viviendas rurales de material rustico tienen un proceso constructivo tradicional que es más empírico que técnico, se puede establecer un proceso constructivo que es aplicado para la investigación.

El sistema constructivo con bloques de adobe y la tecnología del tapial tienen un proceso similar en la etapa de cimentaciones de la estructura, difiere notablemente cuando se construyen los muros, sin embargo, al final del proceso, la instalación de techos, acabados y demás son similares nuevamente.

A continuación, se presenta dos cuadros comparativos para cada uno de los tipos de sistema constructivo en donde se identificará las diferencias que existe cuando se presenta un refuerzo estructural de mallas metálicas.

**Tabla N° 5**

**Procesos constructivos de los especímenes**

Proceso	Proceso Tradicional	Proceso con Mallas Metálicas
Trabajos Preliminares	Incluye ubicación y dimensionamiento	No difiere
Cimentación	En cualquiera de sus tipos	Difiere
Construcción de Muro	Según proceso constructivo	Difiere
Construcción del Techo	En cualquiera de sus tipos	Difiere
Acabados	En cualquiera de sus tipos	No difiere
<b>Proceso Constructivo con Tapial</b>		
Proceso	Proceso Tradicional	Proceso con Mallas Metálicas
Trabajos Preliminares	Incluye ubicación y dimensionamiento	No difiere
Cimentación	En cualquiera de sus tipos	Difiere
Preparación de material	Según proceso constructivo	No difiere
Encofrados	En cualquiera de sus tipos	Difiere
Moldeo del tapial	Según proceso constructivo	No difiere
Construcción del Techo	En cualquiera de sus tipos	Difiere
Acabados	En cualquiera de sus tipos	No difiere

**Fuente: Propia**

En cuanto a la cimentación la diferencia para ambos tipos de sistema constructivo consiste en que de ser usado sobrecimientos estos, los encofrados de estos deben de ser de 10 a 15 cm. aproximadamente, para que en el espacio excedente se instale la malla metálica.

En la construcción de muros con bloques de adobe la diferencia radica en que algunos bloques deberán de tener una perforación de aproximadamente  $\frac{3}{8}$ " para que a través de estos se pueda introducir alambres de amarre para fijar la malla metálica a los muros. Los orificios de estos bloques deben de estar separados 20 cm horizontalmente, la siguiente hilada de orificios será a 20 cm. de la primera y su proyección

deberá coincidir con la mitad de la separación de la primera hilada de orificios. Estos orificios deben de ser rellenados después con grout de concreto o la mezcla de mortero utilizado en la construcción de los muros. Los orificios deben de estar ubicadas entre 25 a 35 cm. de los extremos de los muros.

Los encofrados en el sistema constructivo con tapial tienen una gran diferencia cuando se utiliza mallas metálicas, una vez instalada la malla metálica por encima del sobrecimiento, los encofrados deben de contener a la malla metálica, o pueden simplemente fijar la malla a los sobrecimientos y hacer la fijación de la malla metálica después. Lo más recomendable es que el encofrado contenga la malla metálica y el moldeo del muro se realice dentro de los encofrados con la malla metálica, debido a que no se puede perforar el muro cuando se está trabajando se recomienda dejar varillas de acero de  $\frac{3}{8}$ " en la locación de los orificios, una vez terminado el muro de tapial se retira las varillas y se usa alambre de amarre para fijar la malla metálica a los muros. La varilla acero debe de ser lisa, un acero corrugado genera desprendimiento del material debido a las corrugaciones de este. La ubicación, así como la forma de rellenar los orificios es idéntica que en el proceso constructivo de adobe.

En ambos tipos de sistema constructivo la instalación de los techos varia del sistema tradicional en que a cualquiera que sea los componentes o el tipo de techo que sea empleado, estos deben de estar fijados a la malla metálica, los puntos de fijación serán en los tijerales o viga collar según sea el caso, si el techo es de paja sin ninguna estructura la malla metálica debe de envolver al muro en su extremo superior.

**b) Identificar las fallas estructurales ocasionadas por eventos sísmicos en viviendas rurales de material rustico construidas tradicionalmente.**

Las fallas estructurales que se producen en este tipo de estructuras son diversas, así como sus causas. Una vez realizado los ensayos sobre los

especímenes se pueden identificar las fallas estructurales ocasionadas por eventos sísmicos.

Las grietas, fisuras y derrumbes son las primeras fallas observables que pueden ocurrir durante o después de los eventos sísmicos. Condiciones como el terreno donde se encuentra la vivienda, la calidad del proceso constructivo en los cimientos y posteriores réplicas del movimiento sísmico puede dar como consecuencia asentamientos y deformaciones de los componentes de la estructura. Finalmente, como consecuencia de los anteriores tipos de falla se genera desplome de los muros, durante un terremoto severo las fallas se pueden presentar de manera simultánea siendo estos efectos catastróficos.

A continuación, un se presenta un cuadro de resumen donde se muestra las fallas estructurales ocurridas durante los ensayos.

**Tabla N° 6**

**Fallas estructurales durante el primer ensayo**

Fallas Estructurales Primer Ensayo			
Modulo	Asentamiento y/o deformación	Grietas y/o derrumbes	Desplome y/o desnivel
A T	-	Si	-
A R	-	-	-
T T	-	Si	-
T R	-	-	-

**Fuente: Propia**

El primer ensayo empieza a generar en los módulos no reforzados pequeñas fisuras y grietas, estas se originan durante el proceso constructivo y se atenúan durante un evento sísmico leve, estas fallas son severas en algunos casos, pero su reparación es factible y no representa un riesgo inmediato para los posibles habitantes.

En los módulos reforzados no se presenta grietas ni fisuras excepto aquellas ocasionadas durante el proceso constructivo.

En ninguno de los 4 módulos se presenta fallas de deformaciones ni derrumbes.

**Tabla N° 7**

**Fallas estructurales durante el segundo ensayo**

Fallas Estructurales Segundo Ensayo			
Modulo	Asentamiento y/o deformación	Grietas y/o derrumbes	Desplome y/o desnivel
A T	Si	Si	Si
A R	-	Si	-
T T	Si	Si	Si
T R	-	Si	-

**Fuente: Propia**

Durante el segundo ensayo las fallas estructurales se hacen más evidentes. Cuando se realizaba el ensayo del módulo de tapial tradicional, el desplome de la parte superior del vano de la puerta ocurrió a los 5 segundos de ensayo. Por recomendación del Ingeniero encargado del laboratorio de estructuras, el ensayo se interrumpió a los 20 segundos debido a que el desplome era evidente ya que las grietas y fisuras eran severas en todos los muros de la estructura y esto iba a generar contratiempos para los ensayos de los módulos restantes. En módulo de adobe tradicional las grietas y fisuras se empiezan a hacer evidentes en el segundo 10 del ensayo, para el segundo 20 empiezan a ocurrir desplomes de bloques de adobe y finalmente en el segundo 40 ocurre desplomes de partes de los muros que representa el estado final de la estructura.

En el caso de módulos reforzados los ensayos duraron 160 segundos, el módulo de adobe reforzado no presentó ninguna falla visible hasta los 60 segundos, a partir de ahí el muro donde se encuentra la puerta sufrió una falla evidente en la cimentación y entro en una fase de movimiento más acelerada que el resto de la estructura, sin embargo no ocurrió desplomes ni derrumbes, sobre el segundo 100 del ensayo se observaron fisuras en el recubrimiento de yeso, estas fisuras se observaron en los vanos de la puerta y ventana. El módulo de tapia reforzada presento una falla similar a la del muro de adobe a partir del segundo 20 del ensayo sin embargo durante los dos 160 segundos de ensayo no se presentó alguna otra falla en la estructura. En una evaluación posterior a los módulos ensayados se observa que los muros

de estos módulos si presentan grietas y fisuras que eventualmente producen desplomes, sin embargo, el refuerzo estructural de mallas metálicas impide el desplome del muro, evitando así poner en riesgo a los ocupantes de la vivienda y haciendo viable futuras reparaciones o refacciones.

**c) Demostrar la diferencia entre los comportamientos sísmicos de viviendas rurales de material rustico con y sin refuerzo estructural.**

La evaluación del comportamiento sísmico mediante los parámetros sísmicos nos permite entender el funcionamiento del sistema estructural, la aceleración producida en la estructura gracias al movimiento del hexápodo electromecánico sirve para calcular la variación de la fuerza producida en la base de la estructura.

Como se observa en el Cuadro N° 4 en el espécimen de adobe tradicional, la cortante máxima llega a un valor de 4.41 KN en el componente Z y en las componentes X, Y alcanza un máximo de 1.47 KN.

En el caso del espécimen de tapia tradicional en la componente Z la cortante tiene un valor máximo de 5.24 KN, mientras que las componentes X, Y alcanzan un máximo de 1.75 KN.

En el cuadro N° 5 se muestran los resultados de la cortante basal en el segundo ensayo. Para el módulo de adobe tradicional los valores para las componentes X, Y, Z son 1.4 KN, 10.3 KN y 4.4 KN respectivamente.

En el caso del módulo de tapia tradicional los resultados son de 1.75 KN, 12.22 KN y 5.24 KN para las componentes X, Y, Z respectivamente.

El siguiente cuadro nos muestra el incremento de la fuerza cortante cuando se añade el sistema de refuerzo.

### Cuadro N° 14

#### Variación de la cortante en especímenes de adobe

Ensayo	G.D.L.	A T	A R	Variación
1	X	1470.86	1604.09	9.06%
	Y	1470.86	1604.09	9.06%
	Z	4412.91	4812.63	9.06%
2	X	1470.86	1604.09	9.06%
	Y	10297.01	11229.71	9.06%
	Z	4412.91	4812.63	9.06%

Fuente: Propia

### Cuadro N° 15

#### Variación de la cortante en especímenes de tapia

Ensayo	G.D.L.	T T	T R	Variación
1	X	1746.65	1879.88	7.63%
	Y	1746.65	1879.88	7.63%
	Z	5240.33	5640.05	7.63%
2	X	1746.65	1879.88	7.63%
	Y	12227.70	13160.40	7.63%
	Z	5240.33	5640.05	7.63%

Fuente: Propia

Los valores varían, incluso entre ensayos, uniformemente según el tipo de sistema constructivo usado.

Mientras que la variación debido al peso del sistema de refuerzo estructural establece una clara diferencia según el sistema constructivo empleado, la variación de fuerza basal entre los ensayos aplicados solo se da en el componente Y sin embargo es de bastante consideración.

### Cuadro N° 16

#### Variación de la cortante entre ensayos - Espécimen AT

G.D.L.	Ensayo #1	Ensayo #2	Variación
X	1470.86	1470.86	0.00%
Y	1470.86	10297.01	600.07%
Z	4412.91	4412.91	0.00%

Fuente: Propia

### Cuadro N° 17

#### Variación de la cortante entre ensayos, Espécimen A R

G.D.L.	Ensayo #1	Ensayo #2	Variación
X	1604.09	1604.09	0.00%
Y	1604.09	11229.71	600.07%
Z	4812.63	4812.63	0.00%

Fuente: Propia

### Cuadro N° 18

#### Variación de la cortante entre ensayos, Espécimen T T

G.D.L.	Ensayo #1	Ensayo #2	Variación
X	1746.65	1746.65	0.00%
Y	1746.65	12227.70	600.07%
Z	5240.33	5240.33	0.00%

Fuente: Propia

### Cuadro N° 19

#### Variación de la cortante entre ensayos, Espécimen T R

G.D.L.	Ensayo #1	Ensayo #2	Variación
X	1879.88	1879.88	0.00%
Y	1879.88	13160.40	600.07%
Z	5640.05	5640.05	0.00%

Fuente: Propia

La configuración de los ensayos hace que la variación de los resultados de las fuerzas cortantes sea mínima, de hecho, solamente varía en una componente, sin embargo, esa variación es suficiente para mostrar los resultados del uso de un sistema de refuerzo.

El coeficiente sísmico  $C$  evalúa la relación entre la fuerza cortante y el peso del módulo. Como se observa en los cuadros 6 y 7 la diferencia se da entre ensayos mas no entre módulos, esto quiere decir que mientras en el primer ensayo la componente Z tiene un coeficiente de 13.59 como valor más alto, en el segundo ensayo la componente Y tiene un coeficiente de 31.7 como valor más alto. El incremento es de 233% entre un coeficiente y otro.

Las frecuencias naturales de los componentes de los 4 especímenes fluctúan entre 18.22 y 23.17 *hz* se presenta un riesgo alto de resonancia, por lo que es necesario que en un caso real las construcciones de viviendas rurales se hagan teniendo en consideración el uso de algún sistema de refuerzo.

- **Resultados General**

El comportamiento sísmico de viviendas rurales de material rustico, evaluada desde los parámetros sísmicos, no difiere considerablemente del comportamiento sísmico de una vivienda tradicional, sin embargo, la presencia del sistema de refuerzo de mallas metálicas permite cumplir tanto la filosofía como los principios del diseño sismoresistente.

Incluso durante un terremoto severo el sistema de refuerzo cumple permite salvaguardar no solo la vida de los ocupantes, una de las características de la construcción con adobe o tapial es que los materiales son reutilizables, por lo que cuando se presentan fallas estructurales, pueden ser reparadas.

Al momento de realizar las reparaciones el sistema de mallas metálicas, que es independiente de la estructura, puede ser desmontado de la estructura y vuelto a ensamblar una vez terminada las reparaciones. Si el sistema sufre daños puede ser reemplazado en su totalidad o por partes, con un adecuado cuidado.

El sistema de refuerzo no solo consta de la malla metálica, para que el sistema sea optimo se debe garantizar su preservación, esto quiere decir un adecuado recubrimiento. El tarrajeo con cemento es el recubrimiento ideal para este tipo de construcción puesto que es impermeable y puede aportar un poco de rigidez al sistema, sin embargo presenta desventajas en cuanto al precio y a la accesibilidad al material se refiere, un enlucido en yeso tiene la ventaja de mantener una temperatura interna de la vivienda más confortable, sin embargo este recubrimiento necesita una adecuada protección frente a eventos meteorológicos por lo que el diseño de los techos debe de ser el adecuado. Sea cual sea los cambios

o variaciones que se presenten en el sistema de refuerzo deben de ser realizados con un criterio adecuado para evitar fallas que perjudiquen a la estructura.

Los efectos de un movimiento sísmico en los componentes de la estructura pueden ser variados y verse influenciados por factores como, tipo de suelo, ubicación de la vivienda, proceso constructivo empleado, sin embargo, a pesar de esas variables el funcionamiento del sistema de refuerzo no se ve afectado.

## CAPITULO V DISCUSIÓN DE RESULTADOS

- **Discusiones Específicas**

- a) Gracias a la experiencia obtenida durante la elaboración de los especímenes pudo observar que el proceso constructivo se ve alterado en etapas puntuales de la construcción. La cantidad de recursos, así como su uso se ve incrementado ligeramente. En zonas rurales donde el acceso a materiales se ve limitado por diversas razones el uso de materiales debe de ser controlado para lograr una buena construcción.

Los resultados observados coinciden con lo dicho por (De La Peña, 1997) en su tesis *Adobe, características y sus principales usos en la construcción*. Que para lograr una vivienda de adobe resistente el mantenimiento y empleo de los materiales debe de ser el ideal. Así mismo (Rubiños, 2009) concluye en su tesis *Propuesta de reconstrucción post-terremoto de viviendas de adobe reforzado* que los proyectos realizados demuestran que se puede realizar viviendas sismoresistente. Un punto fundamental a tener en consideración es que en zonas rurales el poder adquisitivo es reducido aun así el refuerzo de una vivienda de material rustico no demanda gran inversión, según (Torres, 2012) en su tesis *Comportamiento sísmico del adobe confinado. Variable: refuerzo horizontal*. El costo para reforzar una vivienda es de aproximadamente s/. 2 por m<sup>2</sup>.

Contando con los resultados anteriores la hipótesis específica: ***El proceso constructivo de viviendas rurales de material rustico reforzada con mallas metálicas es más eficiente que el proceso constructivo tradicional***. Es aceptada y respaldada por investigaciones anteriores.

- b) Un evento sísmico representa riesgos para cualquier estructura, las construcciones modernas han sido reguladas, los estándares de calidad de materiales y procesos han sido fijados por lo que el riesgo en estas construcciones es reducido. Un caso distinto se observa en la construcción de viviendas rurales de material rustico partiendo

principalmente desde el punto que son autoconstrucciones en su mayoría. La construcción de los especímenes se realizó siguiendo un proceso tradicional, para la elaboración de los especímenes reforzados se tuvo en cuenta un criterio más técnico en la preparación del material y el proceso constructivo especialmente en el sistema de refuerzo de mallas metálicas. Los resultados obtenidos son muy evidentes y concuerdan con las siguientes investigaciones realizadas anteriormente.

En su libro *Manual de construcción para viviendas antisísmicas de tierra* (Minke, 2001), recopila información sobre ensayos de sismos simulados donde las grietas y fisuras empiezan a aparecer principalmente en los vanos de puertas y ventanas, lo mismo ocurrió en los ensayos realizados en el laboratorio de estructuras de la UPLA. En su tesis *Análisis del comportamiento de muros de adobe reforzados con geomalla ante esfuerzos cíclicos laterales* (Astorga, 2011), concluye que el adobe es un material muy frágil frente a esfuerzos laterales que son producidos por los sismos. El comportamiento sísmico de una estructura de material rústico sin refuerzo es tan peligroso que (Rubiños, 2009) en su tesis *Propuesta de reconstrucción post-terremoto de viviendas de adobe reforzado* concluye que la construcción de viviendas de adobe tradicionales debe de ser evitada sobre todo en zonas sísmicas.

Contando con los resultados anteriores la hipótesis específica: ***Las viviendas rurales de material rústico construidas tradicionalmente son muy vulnerables frente a eventos sísmicos.*** Es aceptada y respaldada por investigaciones anteriores.

- c) Durante la investigación no se pudo contar con un equipo completo para realizar un análisis más profundo de los parámetros sísmicos, sin embargo, pese a las limitaciones y gracias al personal encargado del laboratorio de estructuras de la UPLA se pudo realizar los ensayos para observar desde un enfoque cualitativo el comportamiento sísmico de los especímenes.

La evaluación cuantitativa de los parámetros se realizó posteriormente, los resultados obtenidos muestran que los parámetros sísmicos no se ven afectados en gran medida por el sistema de refuerzo.

Luego de establecer que no es posible establecer leyes de comportamiento para estructuras de adobe ni para el refuerzo usado se concluye en la tesis *Análisis del comportamiento de muros de adobe reforzados con geomalla ante esfuerzos cíclicos laterales* (Astorga, 2011). El comportamiento de estructuras de adobe es muy torpe frente a esfuerzos sísmicos y la importancia de un sistema de refuerzo se da conforme el muro se acerca al desplome. Se puede pensar que el sistema de refuerzo de mallas metálicas no altera significativamente los parámetros sísmicos debido a que es un sistema de refuerzo externo, pero en su tesis *Comportamiento sísmico del adobe confinado. Variable: refuerzo horizontal* (Torres, 2012) concluye que un refuerzo interno solo sirve para el control de fisuras y grietas incrementando ligeramente la resistencia cortante. Finalmente en la tesis *Propuesta de método de diseño para reforzamiento sísmico de muros de adobe con malla de cuerdas* (Sarmiento, 2016) señala que los valores numéricos guardan relación con el modelo matemático de una estructura tradicional.

Contrastando los resultados y comparándolos con los resultados anteriores la hipótesis específica: **Los parámetros sísmicos de las estructuras reforzadas y tradicionales son similares**. Es aceptada y respaldada por investigaciones anteriores.

- **Discusión general**

La realidad de las zonas rurales de Junín y del Perú en general es adversa y difícil en todos los aspectos, en las zonas alto andinas las viviendas tienden a ser construidas con materiales rústicos por dos motivos principalmente primero que este tipo de material otorga un mayor confort para el medio ambiente donde se ubican las comunidades rurales, el segundo motivo y más determinante es que son construcciones de bajo costo sin embargo como se sostiene en las siguientes investigaciones:

- ✓ Análisis del comportamiento de muros de adobe reforzados con geomalla ante esfuerzos cíclicos laterales (Astorga, 2011)
- ✓ Propuesta de reconstrucción post-terremoto de viviendas de adobe reforzado (Rubiños, 2009)
- ✓ Manual de construcción para viviendas antisísmicas de tierra (Minke, 2001)

Las construcciones de material rustico son vulnerables y representan un riesgo alto durante y después de los eventos sísmicos.

Con la condicionante de que el poder adquisitivo es reducido, es imposible emplear sistemas costosos como refuerzo con geomallas o mallas electro soldadas debido a que el precio es elevado y a que el acceso al material es difícil. El empleo de sistemas de refuerzo que requieren asistencia técnica tales como, empleo de columnetas de confinamiento, instalación de vigas collar entre otros se ve dificultado principalmente por la falta de personal técnico en comunidades rurales, es por esta razón que se busca demostrar la eficacia de un sistema de refuerzo que pueda ser fácilmente replicado. En las siguientes investigaciones se demuestra que la tecnología para reforzar las viviendas es sencilla sin embargo puede no ser accesible o no muy eficaz.

- ✓ Propuesta de reconstrucción post-terremoto de viviendas de adobe reforzado (Rubiños, 2009)
- ✓ Comportamiento sísmico del adobe confinado. Variable: refuerzo horizontal (Torres, 2012)

Así mismo una vivienda reforzada o no debe de tener un mantenimiento y protección adecuada.

El refuerzo de mallas metálicas es un refuerzo externo a la estructura entonces su aporte a las características físicas y mecánicas de la estructura es reducido, su porte se ve reflejado en que la estructura cumple con la filosofía y los principios de diseño sismoresistente, pese a

que no se pudo realizar una investigación cuantitativa completa los resultados de las siguientes investigaciones corroboran esta afirmación

- ✓ Comportamiento sísmico del adobe confinado. Variable: refuerzo horizontal (Torres, 2012)
- ✓ Análisis del comportamiento de muros de adobe reforzados con geomalla ante esfuerzos cíclicos laterales (Astorga, 2011)
- ✓ Propuesta de método de diseño para reforzamiento sísmico de muros de adobe con malla de cuerdas (Sarmiento, 2016).

Es así que una vez realizado un análisis cuantitativo y cualitativo sobre el comportamiento sísmico de viviendas rurales de material rustico la hipótesis general ***Las estructuras de material rustico reforzadas tienen un mejor comportamiento sísmico que las estructuras sin refuerzo***, es aceptada

## CONCLUSIONES

1. Se concluye por lo tanto que gracias a las ventajas que ofrece un sistema de refuerzo estructural de mallas metálicas en el aspecto económico y técnico, logran que las viviendas rurales de material rustico tengan un mejor comportamiento sísmico basándose en la filosofía y los principios del diseño sismoresistente.
2. El proceso constructivo de viviendas rurales de material rustico con refuerzo estructural de mallas metálicas, por las características del tipo de material empleado permite asegurar la integridad de los habitantes durante un sismo, permitiendo una evacuación y de ser necesario una reparación de la estructura.
3. Gracias a los resultados de los ensayos realizados en el laboratorio de estructuras de la UPLA se puede concluir que durante un sismo las estructuras de material rustico son vulnerables a sufrir fallas estructurales. Una estructura sin refuerzo es vulnerable frente a sismos de categoría VII de la escala de Mercalli, mientras que una estructura reforzada puede soportar un sismo de categoría IX de la misma escala.
4. Una vez terminada la evaluación cuantitativa de los parámetros del comportamiento sísmico es evidente que el sistema de refuerzo externo logra que la estructura sea estable incluso con incrementos de fuerzas cortantes de 600% en una dirección.

## RECOMENDACIONES

1. Promover e informar constantemente sobre las mejoras del proceso constructivo para viviendas de material rustico, no solamente del sistema de refuerzo de mallas metálicas, existen muchos tipos de sistema de refuerzo, así como variaciones dentro del mismo proceso constructivo que pueden ser útiles.
2. La vulnerabilidad ante eventos sísmico no depende solamente del tipo de sistema constructivo empleado. La ubicación, el dimensionamiento, el tipo de suelo e incluso la forma de una estructura pueden ayudar a disminuir la vulnerabilidad de las estructuras por lo que es necesario tener esas consideraciones al momento de realizar las construcciones, incluso si se trata de viviendas autoconstruidas.
3. Por las dimensiones de los especímenes ensayados el sistema de refuerzo estructural de mallas metálicas funciona efectivamente, pero si las dimensiones son mayores el sistema puede ser no tan efectivo por lo que dependiendo de la finalidad de la construcción este sistema se puede combinar con otros para hacerlo más efectivo.
4. A una estructura de adobe o tapial se le puede tipificar como un sistema estructural de albañilería por lo que la concepción básica de recubrir el muro para estabilizarlo puede ser, con los materiales adecuado, replicada en sistemas de albañilería de material noble para muros de tabiquería en primer lugar y con una adecuada evaluación y diseño para muros exteriores.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ARIES INENIERIA Y SISTEMAS S.A. (s.f.). *Manual de usuario y mantenimiento del servohydro advanced*. Madrid: ARIES INENIERIA Y SISTEMAS S.A.
2. Arto, I. (2014). *Evaluación del comportamiento sísmico de estructuras de tapial mediante análisis no-lineal*. Granada: UGR.
3. Astorga, S. (2011). *Análisis del comportamiento de muros de adobe reforzados con geomalla ante esfuerzos cíclicos laterales*. Sevilla: Universidad de Sevilla.
4. Carazas, W. (2001). *Vivienda urbana popular de adobe en el Cusco, Perú*. Villefontine: UNESCO.
5. Chopra, A. (1995). *Dynamics of Structures - Theory and Applications to Earthquake Engineering*. New Jersey: Prentice Hall Inc.
6. De La Peña, D. (1997). *Adobe, características y sus principales usos en la construcción*. Mexico D.F.: INSTITUTO TECNOLÓGICO DE LA CONSTRUCCION.
7. Dirección General de Vivienda. (2000). *Manual de autoconstrucción de unidades habitacionales de adobe*. La Paz: Ministerio de desarrollo económico - República de Bolivia.
8. Hastings, I., & Huerta, G. (2015). *RECONSTRUCCIÓN Y MEJORAMIENTO DE LA VIVIENDA DE ADOBE EN LA MONTAÑA DE GUERRERO, MÉXICO*. Cuenca: Siacot - Seminario iberoamericano de Arquitectura y construcción con tierra.
9. Hernandez, R., Fernandez, C., & Baptista, P. (1999). *Metodología de la investigación* (Segunda ed.). Juarez: MCGRAW-HILLINTERAMERICANA EDITORES.
10. Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. (2006). *Norma E. 020*. Lima: Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento.
11. Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. (2010). *Edificaciones antisísmicas de adobe*. Lima: Dirección Nacional de la construcción.
12. MINISTERIO DE VIVIENDA, CONSTRUCCIÓN Y SANEAMIENTO. (2014). *FICHAS PARA LA REPARACION DE VIVIENDAS DE ADOBE*. LIMA: MINISTERIO DE VIVIENDA, CONSTRUCCIÓN Y SANEAMIENTO.
13. Ministerio de vivienda, construcción y saneamiento. (7 de Abril de 2017). *NORMA E.080 DISEÑO Y CONTRUCCION CON TIERRA REFORZADA*. *El Peruano*, págs. 1-29.
14. Ministerio de Vivienda, Construcción y Sanemaiento. (24 de Enero de 2006). Norma técnica E.030 "Diseño sismoresistente". *El Peruano*.

15. Ministerio de Vivienda, Construcción y Sanamiento. (24 de Enero de 2016). Norma técnica E.030 "Diseño sísmoresistente". *El Peruano*.
16. Minke, G. (2001). *Manual de construcción para viviendas antisísmicas de tierra*. Kassel: Forschungslabor für Experimentelles Bauen.
17. Muñoz, A. (1999). *Ingeniería Antisísmica*. Lima: Fondo Editorial de la Pontificia Universidad Católica del Perú.
18. Ojeda, S. (2012). *Evaluación del Comportamiento Estructural de Módulos de Adobe durante Ensayos de Simulación Sísmica*. Lima: PUCP.
19. Rodríguez, F., Mezquita, C., & Pérez, H. (2008). *La investigación pedagógica una vía para elevar la calidad educativa*. Lima: Taller Gráficos San Remo.
20. Rubiños, Á. (2009). *Propuesta de reconstrucción post-terremoto de viviendas de adobe reforzado*. Lima: PUCP.
21. Salvador, E. (2006). *Comportamiento Sísmico de un Módulo de Adobe de Dos Pisos con Refuerzo*. Lima: PUCP.
22. San Bartolomé, A. (1998). *Construcciones de Albañilería - Comportamiento Sísmico y Diseño Estructural*. Lima: Fondo Editorial de la Pontificia Universidad Católica del Perú.
23. Sanchez, C., & Meza, R. (2006). *Metodología y diseños en investigación científica*. Lima: Vision Universitaria.
24. Sarmiento, J. (2016). *Propuesta de método de diseño para reforzamiento sísmico de muros de adobe con malla de cuerdas*. Lima: PUCP.
25. Tarbuck, E., & Lutgens, F. (2005). *Ciencias de la Tierra una introducción la geología física*. Madrid: Pearson Educación S.A.
26. Tavera, H., & Bernal, I. (2005). *Distribución espacial de áreas de ruptura y lagunas sísmicas en el borde del Perú*. Lima: IGP.
27. Tejada, U., Mendoza, A., & Torrealva, D. (2013). *USO DEL TAPIAL EN LA CONSTRUCCION*. Lima: SENCICO.
28. Thomson, W. (1982). *Teoría de vibraciones*. (H. Rincon, Trad.) Madrid: Editorial Dossat S.A.
29. Torres, A. (2012). *Comportamiento sísmico del adobe confinado. Variable: Refuerzo Horizontal*. Lima: PUCP.
30. Zegarra, L., Quiun, D., & San Bartolomé, A. (2003). *Pruebas de simulación sísmica en módulos de vivienda de adobe reforzado del proyecto COPASA-GTZ-PUCP*. Lima: PUCP.
31. Zelaya, V. (2007). *Estudio sobre diseño sísmico en construcciones de adobe y su incidencia en la reducción de desastres*. Lima: UNFV.

# **ANEXOS**

## Matriz de consistencia

### TÍTULO DE LA TESIS: EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO SÍSMICO DE VIVIENDAS RURALES DE MATERIAL RUSTICO CON REFORZAMIENTO ESTRUCTURAL DE MALLAS METÁLICAS EGRESADO: Bach. HUAMÁN CARBAJAL JUAN PABLO

PROBLEMA	OBJETIVOS	MARCO TEÓRICO	HIPÓTESIS	VARIABLES DIMENSIONES E INDICADORES	METODOLOGÍA
<p><b>1. PROBLEMA GENERAL</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>¿Qué efecto tiene el refuerzo estructural de mallas metálicas en el comportamiento sísmico de viviendas rurales de material rustico?</li> </ul> <p><b>2. PROBLEMAS ESPECÍFICOS</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>¿Qué efecto tiene el refuerzo estructural de mallas metálicas en el proceso constructivo de viviendas rurales de material rustico?</li> <li>¿Las viviendas rurales de material rustico construidas tradicionalmente son vulnerables frente a eventos sísmicos?</li> <li>¿Existe diferencia en el comportamiento sísmico de viviendas rurales de material rustico cuando tiene un refuerzo estructural de mallas metálicas?</li> </ul>	<p><b>1. OBJETIVO GENERAL</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Evaluar el comportamiento sísmico de viviendas rurales de material rustico reforzadas con mallas metálicas.</li> </ul> <p><b>2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Identificar las diferencias entre el proceso constructivo tradicional y el proceso constructivo con refuerzo estructural de mallas metálicas.</li> <li>Identificar las fallas estructurales ocasionadas por eventos sísmicos en viviendas rurales de material rustico construidas tradicionalmente.</li> <li>Demostrar la diferencia entre los comportamientos sísmicos de viviendas rurales de material rustico con y sin refuerzo estructural de mallas metálicas.</li> </ul>	<p><b>1. ANTECEDENTES</b></p> <p>A) NIVEL NACIONAL</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Tesis, Propuesta de reconstrucción post-terremoto de viviendas de adobe reforzado, por Rubiños (Rubiños, 2009).</li> <li>Tesis, Comportamiento sísmico del adobe confinado. Variable: refuerzo horizontal, por Torres (Torres, 2012).</li> <li>Tesis, Propuesta de método de diseño para reforzamiento sísmico de muros de adobe con malla de cuerdas, por Sarmiento (Sarmiento, 2016).</li> </ul> <p>B) NIVEL INTERNACIONAL</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Manual, Manual de autoconstrucción de unidades habitacionales de adobe, por la Dirección General de Vivienda (Dirección General de Vivienda, 2000).</li> <li>Manual, Manual de construcción para viviendas antisísmicas de tierra, por Minke (Minke, 2001).</li> <li>Tesis, Adobe, características y sus principales usos en la construcción, por De La Peña (De La Peña, 1997).</li> </ul> <p><b>2. MARCO TEÓRICO</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Adobe. (Minke, 2001).</li> <li>Material rustico. (De La Peña, 1997)</li> <li>Refuerzo estructural (Ministerio de Vivienda, Construcción y Sanamiento, 2006)</li> <li>Sismo (Zelaya, 2007).</li> <li>Tapial (Minke, 2001).</li> </ul>	<p><b>1. HIPÓTESIS GENERAL</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Las viviendas rurales de material rustico con reforzamiento estructural de mallas metálicas tienen un mejor comportamiento sísmico que las estructuras sin refuerzo.</li> </ul> <p><b>2. HIPÓTESIS ESPECÍFICAS</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>El proceso constructivo de viviendas rurales de material rustico reforzada con mallas metálicas es más eficiente que el proceso constructivo tradicional.</li> <li>Las viviendas rurales de material rustico construidas tradicionalmente son muy vulnerables frente a eventos sísmicos.</li> <li>Los parámetros sísmicos de las estructuras reforzadas y las tradicionales son similares.</li> </ul>	<p><b>Variable Independiente (X)</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Reforzamiento estructural de mallas metálicas</li> </ul> <p><b>Dimensiones:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Refuerzo en cimientos</li> <li>Refuerzo en muros</li> <li>Preservación</li> </ul> <p><b>Indicadores</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Instalación del refuerzo durante proceso constructivo</li> </ul> <p><b>Variable Dependiente (Y)</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Comportamiento sísmico de viviendas rurales de material rustico</li> </ul> <p><b>Dimensiones:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Enfoque cualitativo</li> <li>Enfoque cuantitativo</li> </ul> <p><b>Indicadores</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Parámetros sísmicos</li> <li>Fallas estructurales</li> </ul>	<p><b>- Tipo de Investigación</b></p> <p>Aplicada</p> <p><b>- Nivel de Investigación</b></p> <p>Correlacional</p> <p><b>- Diseño de la Investigación</b></p> <p>Experimental puro con un estudio únicamente post-prueba</p> $O_e \rightarrow X_1 \rightarrow M_1$ $O_c \rightarrow -X_1 \rightarrow M_2$ <p><b>- Ámbito de Estudio</b></p> <p>Nuevas tecnologías y procesos</p> <p><b>- Población</b></p> <p>Viviendas en zonas rurales</p> <p><b>- Muestra</b></p> <p>Tipo de material de las viviendas</p> <p><b>- Unidad de análisis</b></p> <p>Centros poblados de la región Junín</p> <p><b>Método de investigación</b></p> <p>Método científico</p> <p><b>Técnicas e instrumentos de Recolección de datos</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Observación</li> <li>Fichas de control</li> <li>Registro fotográfico</li> </ul> <p><b>- Técnicas estadísticas de análisis y procesamiento de datos</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Cuadros de análisis</li> </ul>

## Matriz de Operacionalización de variables

PROBLEMAS ESPECÍFICOS	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	HIPÓTESIS ESPECIFICAS	VARIABLES	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES / INDICADORES		ESCALA DE MEDICIÓN
						DIMENSIÓN	INDICADOR	
¿Qué efecto tiene el refuerzo estructural de mallas metálicas en el proceso constructivo de viviendas rurales de material rustico?	Identificar las diferencias entre el proceso constructivo tradicional y el proceso constructivo con refuerzo estructural de mallas metálicas.	El proceso constructivo de viviendas rurales de material rustico reforzada con mallas metálicas es más eficiente que el proceso constructivo tradicional.	Refuerzo estructural de mallas metálicas	Refuerzos añadidos al proceso constructivo, puede ser empleado en viviendas nuevas y viviendas existentes	Instalación del sistema de refuerzo estructural de mallas metálicas durante el proceso constructivo	Instalación en cimentaciones Instalación en muros Preservación del sistema	Instalación en cimentaciones Instalación en muros Acabados	Variable cualitativa nominal
¿Las viviendas rurales de material rustico construidas tradicionalmente son vulnerables frente a eventos sísmicos?	Identificar las fallas estructurales ocasionadas por eventos sísmicos en viviendas rurales de material rustico construidas tradicionalmente.	Las viviendas rurales de material rustico construidas tradicionalmente son muy vulnerables frente a eventos sísmicos.	Comportamiento sísmico	Los efectos que produce un movimiento sísmico en las viviendas así como la reacción de estas.	Evaluación cualitativa del estado de los especímenes	Enfoque cualitativo	Fallas estructurales	Variable cualitativa nominal
¿Existe diferencia en el comportamiento sísmico de viviendas rurales de material rustico cuando tiene un refuerzo estructural de mallas metálicas?	Demostrar la diferencia entre los comportamientos sísmicos de viviendas rurales de material rustico con y sin refuerzo estructural de mallas metálicas.	Los parámetros sísmicos de las estructuras reforzadas y las tradicionales son similares.	Comportamiento sísmico	Los efectos que produce un movimiento sísmico en las viviendas así como la reacción de estas.	Simulación de movimientos sísmicos. Evaluación de parámetros sísmicos.	Enfoque cuantitativo	Parámetros sísmicos	Variable cuantitativa discreta -KN -m/s <sup>2</sup> -Kg/cm -hz

## Fichas de evaluación de especímenes

### FICHA DE VALIDACIÓN N° 1

#### PROCESO CONSTRUCTIVO DE LOS ESPECÍMENES

Especialista:

---

Espécimen: \_\_\_\_\_

1. ¿La base de los especímenes representa adecuadamente un terreno natural?  
a) Si                      b) No                      c) Debe de mejorar
2. ¿Qué tipo de cimiento es usado en la construcción de los especímenes?  
a) Barro                      b) Concreto ciclópeo                      c) Barro con piedras
3. ¿Las dimensiones de los especímenes son las adecuadas?  
a) Si                      b) No, son muy grandes                      c) No, son muy pequeñas
4. ¿El proceso constructivo empleado es correcto?  
a) Sí, es el adecuado.                      b) Es regular.                      c) No, es total mente inadecuado
5. ¿Presenta el espécimen un refuerzo estructural?  
a) Si                      b) No
- 5.1. ¿El refuerzo está sujetado adecuadamente a los muros?  
a) Si                      b) No                      c) Debe de mejorar
6. Observaciones y/o recomendaciones

.....

---

FIRMA

**FICHA DE VALIDACIÓN N° 2**  
**Estado de los especímenes pre-ensayos**

Especialista:

---

Especímen: \_\_\_\_\_

1. ¿Existe hundimiento desigual en los especímenes?  
a) No                      b) Si, no es de consideración                      c) Si, es grave
  
2. ¿Existen grietas o fisuras por encima de los cimientos de los especímenes?  
a) No                      b) Si, no son de consideración                      c) Si, son graves
  
3. ¿Existen grietas o fisuras en los muros de los especímenes?  
a) No                      b) Si, no son de consideración                      c) Si, son graves
  
4. ¿Existen grietas o fisuras en los vanos de los especímenes?  
a) No                      b) Si, no son de consideración                      c) Si, son graves
  
5. ¿Existen grietas o fisuras en la parte superior de los especímenes?  
a) No                      b) Si, no son de consideración                      c) Si, son graves
  
6. ¿Hay riesgo de desplome del espécimen?  
a) No                      b) Si, se puede controlar                      c) Si, el desplome es inevitable
  
7. Observaciones

.....

---

FIRMA

## FICHA DE VALIDACIÓN N° 3

### Estado de los especímenes post-ensayos

Especialista:

Especímen: \_\_\_\_\_

1. ¿El espécimen resistió el ensayo?  
a) Si            b) Si, pero se presentan fallas    c) No, ocurrió desplome
  
2. ¿Existen grietas o fisuras por encima de los cimientos de los especímenes?  
a) No            b) Si, no son de consideración    c) Si, son graves
  
3. ¿Existen grietas o fisuras en los muros de los especímenes?  
a) No            b) Si, no son de consideración    c) Si, son graves
  
4. ¿Existen grietas o fisuras en los vanos de los especímenes?  
a) No            b) Si, no son de consideración    c) Si, son graves
  
5. ¿Existen grietas o fisuras en la parte superior de los especímenes?  
a) No            b) Si, no son de consideración    c) Si, son graves
  
6. Si fuese una vivienda de tamaño real ¿Sería posible la reparación de las fallas?  
a) No            b) Si, las fallas no son graves    c) Si, las fallas son graves
  
7. Observaciones

.....

\_\_\_\_\_  
FIRMA

# **PANEL FOTOGRAFICO**