

**UNIVERSIDAD PRIVADA ANTENOR ORREGO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**



---

**“DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE MUROS CON  
TIERRA ESTABILIZADA APILADA COMPACTADA SEGÚN LA NORMA E.080”**

---

**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL**

**LÍNEA DE INVESTIGACIÓN: CONSTRUCCIÓN Y MATERIALES**

**AUTORES: BR. GONZALES RODRÍGUEZ, JESÚS FIDEL.**

**BR. REÁTEGUI LICHAM, SANDRO.**

**ASESOR: MS. PAREDES ESTACIO, JORGE LUIS.**

**TRUJILLO - PERÚ**

**2019**

## JURADO CALIFICADOR

---

PRESIDENTE

Ing. PÉRRIGO SARMIENO, FELIX GILBERTO

---

SECRETARIO

Ing. URTEAGA GARCIA, JUAN MANUEL

---

VOCAL

Ing. OCHOA ZEVALLOS, ROLANDO

## DEDICATORIA

A mis padres: Vicky y Percy por su incondicional esfuerzo y motivación para dejarme como herencia mi formación profesional que me servirá en el transcurso de mi vida; a mis hermanos: Shirley y Steven por apoyarme y comprenderme y, a toda mi familia que de una u otra forma me sirvieron de fuente de inspiración para concretar mi anhelo personal ¡ser un ingeniero!

Sandro Reátegui Licham

A mis padres: Jesús y Elena que son los pilares que me sostienen; a mi hermana Fiorella que me motivaba a concluir mi sueño y, a todas aquellas personas que creyeron y creen en mí y me depositaron su confianza a pesar de los obstáculos que se presentaron y que sé que siempre estarán apoyándome para salir juntos adelante.

Jesús Fidel Gonzales Rodríguez

## **AGRADECIMIENTO**

Agradecemos a la Universidad Privada Antenor Orrego por formarnos integralmente a lo largo del desarrollo académico de nuestra carrera, a los docentes que con su experiencia contribuyeron al fortalecimiento de nuestras competencias como ingenieros y de manera muy especial a nuestro asesor.

## RESUMEN

Siendo nuestro país un territorio cultural, con antecedentes constructivos en nuestra región como lo son las edificaciones con tierra de las culturas pre incas, tenemos como deber mantener esa identidad cultural. Una buena manera de hacerlo es considerar agregar las construcciones con tierra a nuestro sistema de edificaciones. Para ello es necesario saber que se deben cumplir las normas establecidas para abarcar este tema ya que se tiene entendido que las construcciones con tierra sufren de cierta vulnerabilidad frente a factores sísmicos y atmosféricos, es por eso que nuestra investigación va dirigida a conocer una modalidad de construcción con tierra, sujeta a los estándares de seguridad impuestos.

Esta investigación tiene como objetivo principal determinar las propiedades mecánicas de muros con tierra estabilizada apilada compactada, utilizando los ensayos de laboratorio de compresión y tracción que nos indica el artículo 8 de la Norma E.080, teniendo como material un terreno en el distrito de Moche. Previamente se realizaron los ensayos de sedimentación, cinta de barro y resistencia seca en el mismo terreno para comprobar que el material sea óptimo para el experimento. Luego se elaboraron moldes de madera contraplacada para cubos y muretes y moldes de pvc para cilindros, así se fabricaron las muestras compuestas por tierra con un agregado de cal de 5% y un porcentaje de humedad del 20%, con un tiempo de secado de 28 días. Se presentaron ciertas dificultades en la elaboración de las probetas debido a ciertos factores ambientales como el intenso sol y fuertes vientos, por lo cual se procedió a dejar secar cada muestra bajo una capa de barniz, para así asegurarlas y facilitar su manipulación y traslado, luego las muestras se transportaron al laboratorio de materiales en la Universidad Privada Antenor Orrego para los ensayos respectivos y así comparar nuestros resultados con los parámetros que nos dicta la Norma.

Este estudio es experimental, por lo cual se busca demostrar que este sistema de construcción de muros de tierra estabilizada con cal en el modo TAC (Tierra Apilada Compactada) es óptimo para su utilización en nuestra localidad según la norma que nos rige. Finalmente se obtuvieron los resultados de los ensayos, los cuales

determinaron que esta nueva forma de construcción de tierra con cal es más resistente que las modalidades que presenta la norma, por lo tanto se puede llegar a la conclusión que esta nueva modalidad de eco construcción con tierra es eficiente, siempre y cuando sigamos paso a paso las recomendaciones dadas por el reglamento en cuanto a cimentaciones, arriostre y mantenimiento.

## **ABSTRACT**

Being our country a cultural territory, with constructive antecedents in our region as the buildings with earth of pre-Inca cultures, we have as a duty to maintain that cultural identity. A good way to do it is to consider adding the constructions with earth to our system of buildings. For this it is necessary to know that the established norms must be fulfilled to cover this issue since it is understood that buildings from the land suffer from a certain vulnerability to seismic and atmospheric factors that is why our research is aimed at knowing a modality of construction with earth, subject to the safety standards imposed.

The main objective of this research is to determine the mechanical properties of walls with compacted stacked stabilized earth, using the compression and traction laboratory tests indicated in article 8 of Standard E.080, having as material a site in the district of Moche. Previously, sedimentation, mud and dry resistance tests were performed on the same terrain to verify that the material is optimal for the experiment. Later, molds were made of plywood for walls and pvc molds for cylinders, thus the samples were made by earth were made with an aggregate of lime of 5% and a percentage of humidity of 20%, with a drying time of 28 days. There were certain difficulties in the preparation of the specimens due to certain environmental factors such as the intense sun and strong winds, so we proceeded to allow each sample to dry under a layer of varnish, in order to secure them and facilitate their handling and transfer, then the samples were transported to the laboratory of materials at the Antenor Orrego Private University for the respective tests and thus compare our results with the parameters that the Standard dictates. This study is experimental, which is why we seek to demonstrate that this system of construction of earth walls stabilized with lime in the TAC mode (Compacted Stacked Earth) is optimal for use in our locality according to the norm that governs us. Finally, the results of the tests were obtained, which determined that this new form of earth construction with lime is more resistant than the modalities presented by the standard, therefore it can be concluded that this new modality of eco construction with Land is efficient, as long as we follow step by step the recommendations given by the regulation in terms of foundations, brace and maintenance.

# ÍNDICE

	Página
DEDICATORIA.....	iii
AGRADECIMIENTO.....	iv
RESUMEN.....	v
ASBTRACT.....	vii
DEDICATORIA .....	3
AGRADECIMIENTO .....	4
RESUMEN .....	5
ABSTRACT .....	7
1. INTRODUCCIÓN: .....	11
1.1. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN .....	11
1.1.1. REALIDAD PROBLEMÁTICA: .....	11
1.1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA: .....	12
1.2. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN .....	12
1.2.1. OBJETIVO GENERAL:.....	12
1.2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS: .....	12
1.3. JUSTIFICACIÓN DEL ESTUDIO .....	13
2. MARCO DE REFERENCIA.....	15
2.1. ANTECEDENTES DEL ESTUDIO .....	15
2.2. MARCO TEÓRICO: .....	20
2.3. MARCO CONCEPTUAL:.....	25
2.4. HIPÓTESIS: .....	26
2.4.1. GENERAL:.....	26
2.5. VARIABLES:.....	26
2.6. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES: .....	27
3. METODOLOGÍA:.....	28
3.1. TIPO Y NIVEL DE INVESTIGACIÓN: .....	28
3.2. POBLACIÓN Y MUESTRA:.....	28
3.2.1. POBLACIÓN: “TIERRA ESTABILIZADA APILADA COMPACTADA” .....	28
3.2.2. MUESTRA: .....	28
3.3. DISEÑO DE INVESTIGACIÓN: .....	28
3.4. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE INVESTIGACIÓN: .....	29
3.4.1. PRUEBA DE SEDIMENTACIÓN:.....	29
3.4.2. PRUEBA “CINTA DE BARRO” .....	29



3.4.3.	PRUEBA “PRESENCIA DE ARCILLA” o “RESISTENCIA SECA”	30
3.4.4.	ENSAYO DE “COMPRESIÓN DE PRUEBA”:	30
3.4.5.	ENSAYO DE “COMPRESIÓN”:	31
3.4.6.	ENSAYO DE “TRACCIÓN”:	31
3.4.7.	ENSAYO DE “COMPRESION DE MURETE”:	32
3.4.8.	ENSAYO DE “TRACCIÓN INDIRECTA DE MURETE”:	32
3.5.	PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE DATOS:	33
3.5.1.	PRUEBA DE SEDIMENTACIÓN:	33
3.5.2.	PRUEBA DE CINTA DE BARRO:	34
3.5.3.	PRUEBA DE RESISTENCIA SECA:	35
3.5.4.	ENSAYO DE “COMPRESIÓN DE PRUEBA”:	36
3.5.5.	ENSAYO DE “COMPRESIÓN”:	38
3.5.6.	ENSAYO DE “TRACCIÓN”:	40
3.5.7.	ENSAYO DE “COMPRESION DE MURETE”:	41
3.5.8.	ENSAYO DE “TRACCIÓN INDIRECTA DE MURETE”:	43
4.	RESULTADOS	45
4.1.	ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS	45
4.2.	PRUEBA DE HIPÓTESIS	48
5.	DISCUSIÓN DE RESULTADOS	49
	CONCLUSIONES	51
	RECOMENDACIONES	53
	REFERENCIAS	54

## ÍNDICE DE TABLAS

	Página
TABLA N° 01: OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES.....	27
TABLA N° 02: PRUEBA "CINTA DE BARRO.....	34
TABLA N° 03: PRUEBA "RESISTENCIA SECA.....	35
TABLA N° 04: ENSAYO DE COMPRESIÓN DE PRUEBA.....	37
TABLA N° 05: ENSAYO DE COMPRESIÓN.....	39
TABLA N° 06: ENSAYO DE TRACCIÓN.....	41
TABLA N° 07: ENSAYO DE COMPRESIÓN DE MURETES.....	42
TABLA N° 08: ENSAYO DE TRACCIÓN INDIRECTA DE MURETES.....	44
TABLA N° 09: RESUMEN DE RESULTADOS.....	48

## 1. INTRODUCCIÓN:

### 1.1. Problema de Investigación

#### 1.1.1. Realidad Problemática:

La construcción con tierra en las últimas décadas se ha ido dejando de lado por considerarse una modalidad de construcción rudimentaria frente a las modalidades industriales como lo es la construcción con material noble.

En nuestro país, por creerse poco resistente frente a factores atmosféricos (humedad y fuertes vientos) y sísmicos, la construcción con tierra solo se ha utilizado en zonas rurales en las versiones de adobe y tapiales.

La norma E.080, actualizada en el año 2017, es la norma más reciente en cuanto a trabajos con tierra, en ella se muestran los pasos a seguir para construir con adobes y tapiales y los ensayos pertinentes a realizar para que los módulos construidos cumplan con los regímenes de seguridad mínimos. Los refuerzos que toman en cuenta serían externos a la composición del material, como varillas de caña en caso de trabajarse con adobes y con geomallas en caso se trabaje con tapiales. Los únicos aditivos que presenta la norma son los naturales como la paja y la arena gruesa. Estos van dejando de lado otros elementos y modalidades de construcción con tierra que podrían servir y que serían más viables por las características mecánicas que podrían presentar.

Por otro lado, la implementación de tierra estabilizada en nuestro territorio solo se ha dado para mejorar la capacidad portante de los terrenos en los cuales se desea realizar una edificación.

1.1.2. Formulación Del Problema:

¿Cuáles serán los resultados que arrojen los ensayos requeridos en el artículo 8 de la norma E.080 ( $f'_b$ ;  $f'_m$ ;  $f'_t$  y  $V_m$ ) para los muros con tierra estabilizada con cal en el modo de tierra apilada compactada?

1.2. Objetivos de la investigación

1.2.1. Objetivo general:

- Determinar las propiedades mecánicas de muros de tierra estabilizada apilada compactada con los ensayos de:
  - Compresión en bloques.
  - Tracción en cilindros.
  - Compresión en muretes
  - Tracción Indirecta en muretes; Descritos en el Artículo 8 de la Norma E.080.

1.2.2. Objetivos específicos:

- Realizar los ensayos previos de sedimentación, cinta de barro y resistencia seca en el terreno para ver que el material sea óptimo para el experimento.
- Realizar los ensayos de compresión de los 20 bloques de prueba de 0.10x0.10x0.15m, para determinar la combinación óptima entre capas de compactación y golpes de compactado. Realizados en el laboratorio de materiales de la Universidad Privada Antenor Orrego.
- Realizar los ensayos de compresión de los 28 bloques de 0.10x0.10x0.15m en el laboratorio de materiales de la UPAO.

- Realizar los ensayos de tracción de los 6 cilindros de 6"x12" en el laboratorio de materiales de la UPAO.
- Realizar los ensayos de compresión de los 6 muretes de 0.15x0.30x0.45m en el laboratorio de materiales UPAO.
- Realizar los ensayos de tracción indirecta de los 6 muretes de 0.65x0.65x0.15m en el laboratorio de materiales UPAO.
- Comparar los resultados obtenidos mediante los ensayos de compresión y tracción con los parámetros que nos indica la Norma E.080.

### 1.3. Justificación del estudio

Esta investigación busca conocer el comportamiento de la tierra estabilizada con cal y con un cierto porcentaje de humedad cuando se la somete a ensayos de compresión y tracción.

Una vez obtenido los resultados anteriores debemos poner en conocimiento de la comunidad, una nueva alternativa de construcción con tierra tan viable como la albañilería, pues al momento de su ejecución les será menos costoso para los usuarios que deseen usarla en sus infraestructuras.

Asimismo, se busca contribuir con la implementación de normas para el correcto uso de la tierra con aditivos (no solo con la cal) para la ejecución de edificaciones habitacionales no convencionales, para ello debemos mencionarla como un antecedente de estudio para futuras investigaciones del mismo tema.

Esta nueva forma de construcción beneficiará a los pobladores que se ubican en zonas de bajos recursos económicos, ya que ellos mismos podrían poner en práctica la investigación hecha, construyendo sus propios módulos de vivienda con asesoramiento mínimo.

Al ser la tierra un elemento natural se pretende ampliar el campo de construcciones ecológicas y biosostenibles cumpliendo con los estándares de seguridad.

## 2. MARCO DE REFERENCIA

### 2.1. Antecedentes del estudio

(Centro Tierra de la Pontificia Universidad Católica del Perú, 2015)  
En su investigación titulada “Camino Prehispánico Pando” resume “El Camino Pre-hispánico es un sitio arqueológico ubicado en el campus de la Pontificia Universidad Católica del Perú (PUCP) que es uno de los pocos vestigios del sistema de caminos Qhapaq Ñan que cruza la ciudad de Lima. Los 467 m. de muros paralelos que han perdurado siglos y resistido varios terremotos severos brindan información valiosa sobre las técnicas empleadas por los Ichsmas e Incas (1100-1532 A.D.) en su construcción y métodos adecuados de conservación. El Centro Tierra, grupo de investigación de la PUCP especializado en la construcción con tierra llevó a cabo el estudio de las características geométricas, mecánicas del material y estructurales de los muros de tierra del camino con dos fines principales: tener un conocimiento preciso del material que conforma estos muros y entender la técnica usada para edificarlo (amasado, uso de encofrados, grado de compactación, contenido de humedad de la mezcla empleada, inserción de capas horizontales o rellenos de piedras de río, tipos de juntas constructivas, esbeltez, etc.)”

La investigación concluye que: “El suelo tiene arcilla suficiente como para lograr resistencia seca pero no suficiente arena gruesa, que proporciona el esqueleto granular. La técnica de “Tierra Cruda Amasada” utilizada tiene muy poca resistencia. La mezcla se realizó con poca agua y amasado, el material es poroso y le falta algún grado de compactación para lograr que la poca agua active más partículas de arcilla”.

Con estas conclusiones como premisas, lo que se debe tener en cuenta es que la tierra de por si tiene características mecánicas para una buena y durable edificación, pero que también puede mejorar para aumentar sus beneficios para una construcción ecológica acorde a las demandas actuales, aunque este estudio se realizó solo para poder dar una buena conservación del patrimonio histórico, nos da las primeras pistas para nuestra investigación.

Fernández, Mirao, Velosa & Candeias, 2010, presentan su investigación “Estabilización de Tierra con Cal – Ventajas y Desventajas” en la cual explica que “En algunas regiones de Portugal se apagaba la cal con tierra y agua para la manufactura de adobes y producción de morteros que eran utilizados en mamposterías diversas, desde piedra a tierra. Se utilizaban dos tipos de cal producidas en hornos tradicionales: dolomítica y caliza, aparte de una diversidad enorme de tierras. A partir del recogimiento oral de informaciones fue posible extraer tierras y producir en laboratorio muestras de tierra-cal para ensayos (compresión, flexión), análisis (granulométrica, química, mineralógica por DRX-difracción de rayos-x) y observación en microscopio (MEB - Microscopio electrónico de barrido). Al mismo tiempo se realizaron análisis (granulométrica, DRX) y observación (MEB) y se hicieron con muestras extraídas de adobes y revoques provenientes de edificios con cerca de 80 años de antigüedad”.

Luego de los respectivos ensayos, Fernández y su equipo concluye que: “Generalmente lo que se obtiene con la adición de la cal son ventajas en lo que respecta a los efectos de abrasión y erosión con pérdidas de material inferior a 3%, y mejoras en comportamiento a la humedad con pérdidas de material inferior a los 10% para situación de seco-mojado y hielo (Houben & Guillaud, 1989, 128).



En lo que se refiere a desventajas se nota el aumento de peso de las unidades de adobe y la dificultad en construir con adobes demasiado pesados, aproximadamente quince kilos por unidad por cuanto los de tierra estabilizados con paja pesaban cinco kilos”.

Con esta recomendación, consideramos la cantidad de cal a utilizar en un 5% del volumen total y las precauciones en cuanto al momento de contar con las fuerzas que puede soportar el encofrado al momento de construir.

(Guerrero Baca, 2016) en el trabajo de investigación “Tierra apilada compactada (TAC) para la edificación sostenible” desarrolla lo siguiente: “se experimenta la aplicabilidad de tecnologías de tierra compactada recuperando la tradición de la tierra modelada in situ, que predominaba en el norte de México en la época prehispánica. Para eso se requiere elaborar esferas de tierra en estado plástico que facilitan el llenado de los moldes, permiten una rápida compactación con herramientas ligeras y se pueden desmoldar en poco tiempo”. Su investigación concluye mencionando que “Los resultados son muy prometedores pues se han obtenido bloques listos en 40 minutos con altas resistencias a la humedad y la compresión. Además, esta técnica tiene un amplio potencial de aplicación en la restitución volumétrica de arquitectura patrimonial de tierra de cualquier técnica, sin afectar los valores y materialidad de los bienes culturales”.

El aporte de este trabajo nos da los últimos detalles para desarrollar nuestra investigación, nos explica cómo debemos trabajar la tierra compactada, que pautas y que detalles debemos tener en cuenta para la construcción con este material, teniendo en cuenta los resultados obtenidos en sus ensayos y las puestas en práctica en los módulos fabricados.

(Pasivhaus Burgos Arquitectos, 2017) en el artículo “Construcción con Tierra” menciona lo siguiente: Las opciones de construcción con tierra son muy amplias. Existen varias técnicas en el mundo, a continuación, mencionaremos las más comunes:

El Adobe: bloque de barro secado al sol. Este suele estar mezclado con fibras vegetales, generalmente paja, para darle mayor cohesión al bloque.

El Tapial O Tapia: muro compuesto por tierra arcillosa húmeda, apisonada y compactada en un encofrado.

La Tierra Ensacada, también conocida como Superadobe: conformada con tierra húmeda y una pequeña parte de cemento o cal que al ser vertidas dentro de una especie de mangas de polietileno u otros materiales, queda retenido formando hileras superpuestas que configuran el edificio.

El Cob: técnica que consiste en añadir “bolitas” de barro viscoso que al juntarse unas con otras forman una hilada. Es recomendable dejar secar para que así logre una estabilidad adecuada.

Ventajas:

Gran Capacidad Térmica: La tierra posee unas características favorables de aislamiento de temperatura, presentan unos valores de resistencia térmica muy eficientes (un muro de adobe puede llegar a comportarse 5 veces mejor que uno de hormigón armado).

Pero sobretodo tiene una gran resistencia térmica, que esto le atribuye una gran capacidad de almacenamiento de calor, lo cual es muy beneficiosa en zonas con climas muy variables de temperatura entre el día y la noche.

Mínimo Impacto Ambiental: tanto en su proceso de fabricación y transporte (se necesita el 1% de la energía necesaria para la preparación, transporte y elaboración de hormigón armado o ladrillo cocido), como en los residuos producidos en su fabricación y al final de su vida útil, al ser 100% reutilizable.

Material Gratuito Y Accesible En La Naturaleza: El hecho de que el material principal para la construcción sea de fácil adquisición, es algo muy beneficioso.

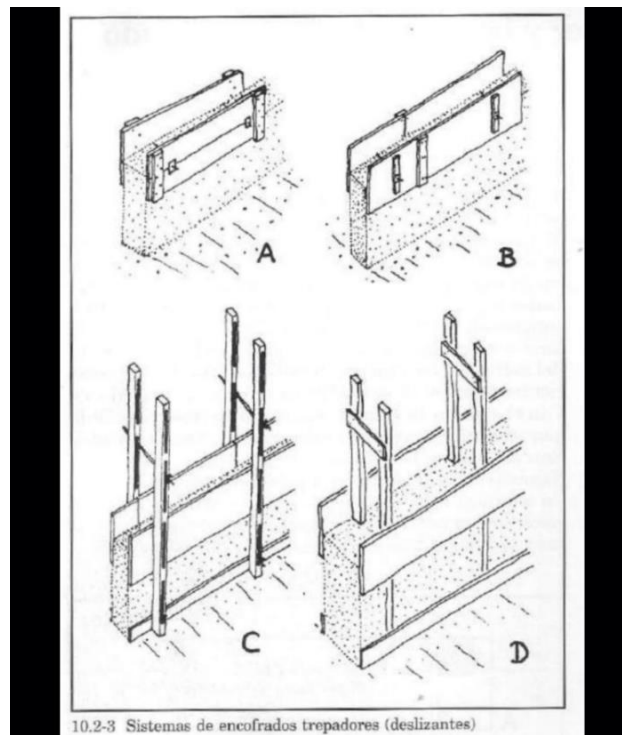
(Gernot Minke, 2005) En el capítulo "Técnicas para apisonar, verter y bombear barro alivianado" del "Manual de Construcción en Tierra (103)" se desarrolla lo siguiente:

Generalidades:

Varias técnicas para el uso del barro alivianado mediante apisonamientos, bombeados y verter para la ejecución de pisos, muros o sistemas de cubiertas se describen en este capítulo. Los diseños especiales para los muros que dan un alto aislamiento térmico adicional empleando barro alivianado depende mucho del encofrado y la técnica correcta del apisonado.

Encofrados:

Los muros de barro alivianado pueden construirse con cualquier tipo de encofrado, ya que los golpes del apisonado para esta técnica son menores que el tapial y así las tablas del encofrado pueden ser más delgadas. Las tablas pueden ser fijadas por tornillos o clavos sin necesidad de crear huecos, lo cual es típico en el tapial. Para reducir la cantidad de tableros para el encofrado se utilizan trepadores (deslizantes).



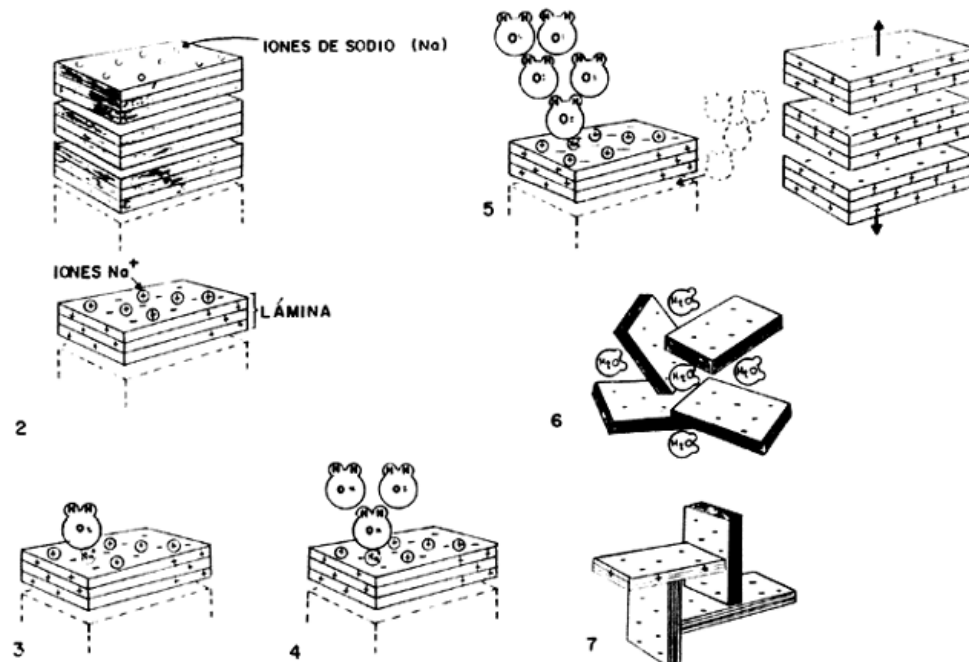
2.2. Marco Teórico:

**La tierra** está compuesta por diversos elementos en distintas proporciones, estos elementos se juntan en tres grupos que son las piedras o gravas, las arenas y las arcillas. Estas últimas serán un material indispensable de nuestra investigación.

Las arcillas poseen características físicas y químicas que las hacen únicas frente a otros minerales, convirtiéndolas en un material muy versátil para trabajar con ellas. Entre sus principales características encontramos:

- Están compuestas por minerales muy pequeños.
- Poseen la capacidad de intercambiar iones entre ellas.
- Pueden alterar su composición química interna.
- Pueden revertir cambios en su estructura laminar.
- Pueden alojar otras partículas en su espacio interlaminar.

(Domínguez & Schifter, 1995) En su libro “Las Arcillas: El Barro Noble” indica lo siguiente: Al agregar agua a las moléculas de arcilla se produce una interacción explosiva, es aquí donde aparece la fuerza electrostática, esta fuerza es la resultante de la composición dipolar de las moléculas de agua, esto quiere decir que estas moléculas actúan como pequeños imanes ya que se tienen cargas positivas (hidrógeno) de un lado y cargas negativas (oxígeno) del otro. En la siguiente secuencia se muestra cómo actúan las arcillas al juntarse con agua:



Fase 1: al principio, las arcillas están con un porcentaje nulo de humedad, presentando iones de Sodio, Potasio y Calcio, absorbidos entre sus espacios interlaminares.

Fase 2: en este punto se ve como las láminas de arcilla entran en un estado electrostático donde las cargas negativas se acumulan en las superficies de las láminas, por otro lado, las cargas positivas se alojan en los bordes. Luego, los iones de sodio se concentran sobre las caras planas.

Fase 3: es aquí donde entran las moléculas de agua, las cuales son atraídas hacia las caras planas de las láminas, esto se debe a que los iones de sodio están cargados positivamente; debemos tomar en cuenta que, a escala molecular, estas cargas electrostáticas son mucho más importantes.

Fase 4: en esta fase, las moléculas de agua aumentan su carga electrostática, haciendo que más moléculas de su mismo tipo se sientan atraídas hacia ellas.

Fase 5: las cargas negativas en las caras planas de las láminas aumentan ya que conforme las moléculas de agua se van entrelazando, estas van aumentando su polarización, hasta el punto en el que las cargas de las superficies aumentan tanto, que comienzan a repelerse, separándose entre ellas, por lo tanto, el espacio interlaminar se expande, esto se percibe como el hinchamiento de las arcillas cuando entran en contacto con el agua.

Fase 6: el proceso de hinchamiento continúa, haciendo que las moléculas de agua ocupen los espacios interlaminares, neutralizando parcialmente las caras expuestas y haciendo que las láminas se aparten

entre ellas, esto ocurre hasta que toda la humedad sea eliminada mediante un proceso de secado, eso concluye en la contracción del volumen de las arcillas.

Fase 7: las arcillas entran en un estado de equilibrio cuando el proceso de hidratación concluye, esto resulta en una estructura molecular interna hidratada que hace que los bordes de las láminas, con carga positiva, coincidan con las caras planas, que tienen las cargas negativas, de esta forma se crea una estructura de “castillo de naipes”, por lo que las moléculas de agua tienen la libertad de entrar y salir a placer; esta estructura puede ser derrumbada mediante una fuerte agitación, el proceso de estructuración vuelve a generarse si la agitación concluye, esto se debe a que las láminas de arcilla mantienen aún las fuertes cargas electrostáticas que las atrajeron al principio. De acuerdo al porcentaje de agua que deseemos agregar a la tierra, esta va a tener distintas características como, por ejemplo:

- ✓ Tierra con 50% a más de humedad, el sistema estará en un estado líquido, su trabajabilidad se ve muy reducida.
- ✓ Tierra con humedad entre el 40% y el 30%, el sistema estará en un estado viscoso, en este estado se permiten trabajar los adobes ya que la tierra es más moldeable.
- ✓ Tierra con humedad aproximada al 25%, el sistema entra en un estado plástico, su trabajabilidad aumenta, es esta dosificación la que usaremos para nuestra investigación.
- ✓ Tierra con humedad aproximada al 10%, el sistema tendrá un estado húmedo, en este estado se trabajan los tapiales.

- ✓ Tierra con menos del 10% de humedad, el sistema se encuentra en un estado seco, con este porcentaje de humedad se pueden trabajar los terrados.

Concentrándonos en el siguiente punto, que es **la compactación**, al aplicar una fuerza de compresión (apisonamiento) se está consiguiendo que aquellos espacios entre las partículas sean mínimos, que el sistema esté más ordenado a nivel molecular y así pueda trabajar aún mejor frente a fuerzas axiales y de corte en su vida útil. La técnica de construcción con apisonamiento más conocida es la de los tapiales, en donde se emplean grandes moldes de madera para compactar bloques consecutivos de tierra con 10% de humedad aproximadamente.

En nuestra región se ha desarrollado bastante esta técnica de los tapiales junto con los adobes desde hace muchos siglos atrás, comenzando desde nuestras culturas pre incas, los pobladores en ese entonces entendieron que el terreno en el que se encontraban parados tenía cierto porcentaje de arcilla que facilitaba el trabajo con la tierra, es por eso que todos y cada uno de sus templos se trabajaron con tierra del mismo lugar de construcción. Esta técnica no tiene mucho misterio, ya que es dar golpes a la masa de tierra, dentro del molde o encofrado, con una superficie que tenga cierto peso para compactarla, se recomienda que esta superficie no sea demasiado grande ya que, al transmitir las fuerzas hacia la tierra, esta no podría compactarse de igual forma en toda el área de apisonamiento.

El siguiente punto a tener en cuenta en esta investigación es las reacciones que tendría la cal al unirse a este sistema tierra-agua.

“Cuando se estabiliza la tierra con cal y se apaga la cal directamente con la tierra se utiliza la reacción exotérmica resultante de la hidratación de la cal para conectar mejor los componentes de la tierra. Al mismo tiempo



se utiliza la cal para ocupar los vacíos que existen entre los componentes de la tierra. Con ese procedimiento se actúa al nivel de la porosidad, permeabilidad y resistencia mecánica del material. Pero esta resistencia mejora con el tiempo en la medida que ocurre la carbonatación de la cal y la reacción físico-química entre las arcillas y la cal” (Houben y Guillaud, 1989, 80). “Las arcillas en presencia de la cal adquieren una estructura flocular al mismo tiempo que los iones de calcio establecen conexiones estables entre las partículas. Esta reacción permite la formación de nuevos elementos cristalinos que intervienen en la agregación/ cohesión de los constituyentes de la tierra” (Santiago, 2007, 184).

Según la información recolectada para esta investigación, la cantidad recomendable de cal para trabajar, combinado con el sistema de tierra-agua, es de 5% a 10% del volumen total, de exceder este porcentaje, la resistencia del sistema se vería disminuida.

### 2.3. Marco Conceptual:

En este trabajo experimental se busca mostrar el sistema de construcción de muros de tierra estabilizada con cal en el modo de “tierra estabilizada apilada compactada” siguiendo las normas establecidas en el reglamento (E.080), teniendo en cuenta el factor ambiental y sísmico de la zona en la que se realizará la investigación. Las muestras serán extraídas de un terreno en el distrito de Moche por la facilidad de acceso que se tuvo para poder trabajar allí. Por otro lado, los ensayos se realizarán en el campus de la Universidad Privada Antenor Orrego en la ciudad de Trujillo en el último trimestre del año 2018.

Por ser un trabajo experimental, este está sujeto a varias complicaciones en el transcurso de su elaboración.

Es posible que, por la gran variedad en la composición de los suelos, los valores de las propiedades mecánicas varíen. Otro posible factor que pueda dificultar nuestra investigación es el clima, sabiendo que en el distrito de Moche se presenta un porcentaje de humedad elevado en el ambiente entre los meses de octubre a diciembre, lo que podría afectar en el tiempo de secado de las muestras.

A pesar de lo antes mencionado, se espera conseguir los valores adecuados en los ensayos para considerar viable esta nueva alternativa de construcción en nuestro país, no solo para sectores específicos de la sociedad, como lo serían las zonas rurales, sino también para las zonas urbanas, ya que la tierra usada como material de construcción, tiene beneficios tales como la aislación térmica y sonora, sin mencionar la facilidad con la que se trabaja y el bajo costo que conlleva.

#### 2.4. Hipótesis:

##### 2.4.1. General:

Los resultados de los ensayos del artículo 8 de la Norma E.080 para las Propiedades Mecánicas ( $f'_b$ ;  $f'_m$ ;  $f'_t$  y  $V_m$ ), de los Muros con Tierra Estabilizada Apilada Compactada superan los parámetros establecidos por el reglamento.

#### 2.5. Variables:

**Variable Independiente:** Propiedades Mecánicas  $f'_b$ ;  $f'_m$ ;  $f'_t$ ; y  $V_m$ .

**Variable Dependiente:** Muros Con Tierra Estabilizada Apilada Compactada.

DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE MUROS CON TIERRA ESTABILIZADA APILADA COMPACTADA  
SEGÚN LA NORMA E.080

2.6. Operacionalización De Variables:

TABLA N° 01					
VARIABLES	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	INDICADORES	UNIDADES	INSTRUMENTOS
Variable Independiente: Propiedades Mecánicas $f'b$ ; $f_m$ ; $f't$ y $V_m$ .	Son propiedades físicas que describen el comportamiento de un material sólido al aplicarle fuerzas de compresión y tracción. Entre ellas están los ensayos de Compresión ( $f'b$ ), Ensayo de Tracción ( $V_m$ ), Ensayo de Compresión de Muretes ( $f_m$ ) y Ensayo de Tracción Indirecta de Muretes ( $f't$ ).	Se realizarán pruebas de Contenido de Humedad y Nivel de Arcilla Adecuada para determinar si la tierra es adecuada para efectuar los siguientes ensayos de laboratorio para medir la Resistencia del material a través de las Prensa Hidráulica en sus distintas formas, que son los Cubos de 10 x 10 x 15 (cm), los Cilindros de 6" x 12" ó 15.24 x 30.48 (cm), los Muretes de 15 x 30 x 45 (cm) y los Muretes de 65 x 65 x 15 (cm).			
		Ensayo de Compresión.	Resistencia Ultima de los Cubos ( $f'b = 10.2$ Kgf/cm <sup>2</sup> ).	Kgf/cm <sup>2</sup>	Prensa Hidráulica.
		Ensayo de Tracción	Resistencia Ultima de los Cilindros ( $V_m = 0.81$ Kgf/cm <sup>2</sup> ).		
		Ensayo de Compresión y Tracción Indirecta de Muretes	Resistencia Ultima de los Muretes ( $f_m = 6.12$ Kgf/cm <sup>2</sup> y $f't = 0.25$ Kgf/cm <sup>2</sup> ).		
Variable Dependiente: Muros Con Tierra Estabilizada Apilada Compactada.	Son bloques de construcción uniformes de tierra con cal, compactada con una dosificación de agua.	Se procedió a cernir la tierra para luego combinarla con cal y agua.	Dosificación exacta: 5% de cal 20% de agua Estos porcentajes serán del volumen total de la mezcla	Kg	-Recipientes graduados -Wincha

### 3. METODOLOGÍA:

#### 3.1. Tipo y Nivel de Investigación:

Tipo: **Cuantitativo**

Nivel: **Aplicada** Se realizará esta investigación de acuerdo a la recolección de estudios sobre este método constructivo.

#### 3.2. Población y Muestra:

##### 3.2.1. Población: “Tierra Estabilizada Apilada Compactada”

Tenemos a disposición un terreno en el distrito de Moche con el cual trabajar, cabe recalcar que la zona en cuestión cuenta con una composición arcillosa, en este terreno se realizarán los ensayos de campo y la elaboración de la muestra.

##### 3.2.2. Muestra:

- Ensayo de Compresión: 20 Bloques de TEAC de Prueba.
- Ensayo de Compresión: 30 Cubos de TEAC.
- Ensayo de Tracción: 6 Cilindros de TEAC.
- Ensayo de Compresión de Muretes: 6 Muretes de TEAC.
- Ensayo de Tracción de Muretes: 6 Muretes de TEAC.

#### 3.3. Diseño de Investigación:

**Experimental:** Ya que es un campo de investigación poco tratada, se quiere dar a conocer, mediante ensayos de laboratorio, los primeros aportes en cuanto a características físicas y mecánicas que tiene este material para la construcción.

### 3.4. Técnicas e Instrumentos de Investigación:

Se hizo el procedimiento que fusiona los principios de la tierra modelada y la tapia pisada. Se añadió una cantidad suficiente de agua para moldear y poder apisonar con facilidad la tierra, pero sin un exceso que dificulte la compactación con el encofrado. Los moldes tuvieron una dimensión aproximada de 8mm de espesor, luego se añadió la tierra seleccionada y mezclada con agua y cal para así comprimirla y finalmente darle forma.

Para esta investigación se ejecutaron distintos ensayos previos:

#### 3.4.1. Prueba de SEDIMENTACIÓN:

Un ensayo simple de sedimentación, donde pudimos apreciar que, mediante una botella con agua y la tierra seleccionada, al ser agitada y luego dejada en reposo para observar la composición del material.

#### 3.4.2. Prueba “CINTA DE BARRO”

Duración: 10 min

- Formar un cilindro de 12mm. de diámetro con una muestra de arcilla colocado en la mano.
- Aplanar poco a poco entre los dedos pulgar e índice.
- Formar una cinta de 4mm de espesor y dejándola descolgar lo más que se pueda.
- Si la cinta alcanza entre 20cm y 25cm de longitud, el suelo es muy arcilloso.
- Si se corta a los 10 cm o menos, el suelo tiene poco contenido de arcilla.

### 3.4.3. Prueba “PRESENCIA DE ARCILLA” o “RESISTENCIA SECA”

Duración: 48 horas

- Formar 4 bolitas con tierra de la zona más una mínima cantidad de agua.
- Dejar secar durante 48 horas.
- Presionar con el dedo pulgar e índice, si se rompe en cualquiera de las 4 bolitas (REPETIR PRUEBA).
- Si continua quebrándose (DESCARTAR SUELO).

### 3.4.4. Ensayo de “COMPRESIÓN DE PRUEBA”:

El procedimiento del ensayo de compresión de prueba mediante cubos es el siguiente:

- a) La resistencia es medida en el ensayo de compresión del material (TEAC) en cubos de 0.1 m de arista.
- b) La elaboración de 20 cubos de TEAC en total (e= 1 cm – 10 golpes por capa, e= 1 cm – 15 golpes por capa, e= 1 cm – 25 golpes por capa, e= 2 cm – 15 golpes por capa y e= 2 cm – 25 golpes por capa).
- c) En este caso verificaremos la combinación óptima entre capas de compactación y golpes de compactado, es recomendable utilizar unas muestras comprimidas elaboradas en moldes de 0.1 x 0.1 x 0.15 m.

#### 3.4.5. Ensayo de “COMPRESIÓN”:

<sup>1</sup>El procedimiento del ensayo de compresión mediante cubos es el siguiente:

- a) La resistencia es medida en el ensayo de compresión del material (TEAC) en cubos de 0.1 m de arista.
- b) La resistencia última es de:  $f_0=1.0\text{MPa} = 10.2\text{kgf/cm}^2$ .
- c) Los cubos de TEAC deben estar conforme con que el promedio de las cinco mejores muestras (de veintiocho muestras) sea igual o mayor a la resistencia última indicada. Y aplicada el ensayo en 7 muestras cada 7 días para verificar su comportamiento.
- d) En este caso tomaremos para nuestros ensayos las medidas pertinentes al tapial ya que se asemejan más a nuestro sistema TEAC. Para este caso en el “tapial”, si es que no existen muestras secas, es recomendable utilizar unas muestras comprimidas elaboradas en moldes de 0.1 x 0.1 x 0.15 m.

#### 3.4.6. Ensayo de “TRACCIÓN”:

- <sup>1</sup>a) La resistencia es medida por el “Ensayo Brasileño de Tracción”, en cilindros de 6” x 12” o 15.24 cm x 30.48 cm de diámetro y largo.
- b) La resistencia última es:  $0.08\text{MPa} = 0.81\text{kgf/cm}^2$ .
- c) La humedad inicial de las muestras del material deben ser de 20 % a 25 %, y un secado cubierto del viento y el sol en 28 días, donde el promedio de las cuatro mejores muestras (de seis muestras) debe estar conforme a que sea igual o mayor a la resistencia última indicada.

---

<sup>1</sup> MINISTERIO DE VIVIENDA, CONSTRUCCIÓN Y SANEAMIENTO. (2017). *NORMA E.080 DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN CON TIERRA REFORZADA*. Perú: El Peruano.

3.4.7. Ensayo de “COMPRESION DE MURETE”:

- a) Medidas: 15 x 30 x 45 cm.
- <sup>2</sup>b) La resistencia última es:  $0.6 = 6.12 \text{ kgf/cm}^2$ .
- c) El ensayo de tracción indirecta en muretes de adobe o tapial de altura igual a tres veces la menor dimensión de la base (aproximadamente).
- d) El promedio de las cuatro mejores muestras (de seis muestras) debe estar conforme a que sea igual o mayor a la resistencia última indicada, después de 28 días de secado.

3.4.8. Ensayo de “TRACCIÓN INDIRECTA DE MURETE”:

- a) Medidas: 65 x 65 x 15 cm.
- <sup>3</sup>b) La resistencia última es:  $0.025 = 0.25 \text{ kgf/cm}^2$ .
- c) El ensayo de compresión diagonal o tracción indirecta de muretes de adobe o tapial de aproximadamente 0.65 m. x 0.65 m. x em.
- d) El promedio de las cuatro mejores muestras (de seis muestras) debe estar conforme a que sea igual o mayor a la resistencia última indicada, después de 14 días de secado.

---

<sup>2</sup> MINISTERIO DE VIVIENDA, CONSTRUCCIÓN Y SANEAMIENTO. (2017). *NORMA E.080 DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN CON TIERRA REFORZADA*. Perú: El Peruano.

<sup>3</sup> MINISTERIO DE VIVIENDA, CONSTRUCCIÓN Y SANEAMIENTO. (2017). *NORMA E.080 DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN CON TIERRA REFORZADA*. Perú: El Peruano.



### 3.5. Procesamiento y Análisis de Datos:

#### 3.5.1. Prueba de sedimentación:

Se procedió a llenar una botella de plástico de 500ml. Con agua y la tierra del terreno en cuestión, se selló y se agitó la botella, luego se dejó reposar por un periodo de 5 horas para que los componentes de la tierra se asienten de acuerdo a su peso. Las primeras partículas en asentarse fueron las arenas y luego las arcillas. Llegamos a la conclusión de que la tierra extraída del terreno en el distrito de Moche, es la correcta porque nos arrojaba un resultado favorable en cuanto al porcentaje de arcilla que fue un aproximado de 50%.



Foto N° 1: Tierra seleccionada con agua.



Foto N° 2: Sedimentación en curso.

### 3.5.2. Prueba de Cinta de Barro:

Se procedió a formar las cintas de 4mm aproximadamente, las cintas llegaron a medir unos 20cm sin romperse, luego se le sostuvo de un lado y se dejó descolgar para ver cuánto resistía sin romperse, siendo los resultados los mostrados en la foto N° 3 y la tabla N° 2.



FOTO N°3: PROCEDIMIENTO DE PRUEBA "CINTA DE BARRO"

TABLA N°02: PRUEBA "CINTA DE BARRO"	
Duración: 10 minutos	
LONGITUD	NIVEL DE ARCILLA
<10cm	BAJO
20cm a 25cm	ALTO

3.5.3. Prueba de Resistencia Seca:

Con un poco de la muestra del terreno se procedió a realizar el ensayo, humedeciendo la tierra hasta que se pueda moldear en cuatro esferas de una pulgada de diámetro aproximadamente, luego se las dejó secar por un periodo de 48 horas, los resultados se ven en la foto N° 4 y la tabla N° 3.



FOTO N° 4: PROCEDIMIENTO DE PRUEBA "PRESENCIA DE ARCILLA" O "RESISTENCIA SECA"

<b>TABLA N° 03 PRUEBA "RESISTENCIA SECA"</b>	
Duración: 48 horas	
N° de BOLITAS	ROMPE
1	No
2	No
3	No
4	No

### 3.5.4. Ensayo de “COMPRESIÓN DE PRUEBA”:

En primer lugar, se procedió a elaborar 20 bloques de 10 cm x 10 cm x 15 cm en moldes de madera contraplacada (e= 1 cm – 10 golpes por capa, e= 1 cm – 15 golpes por capa, e= 1 cm – 25 golpes por capa, e= 2 cm – 15 golpes por capa y e= 2 cm – 25 golpes por capa). Luego se dejó secar por 7 días para finalmente verificar la combinación óptima entre capas de compactación y golpes de compactado.



FOTO N°5: ELABORACIÓN DE CUBOS DE 10X10X15 (CM)

Luego se procedió a realizar los ensayos de compresión de prueba en laboratorio, colocando cada bloque en la prensa para su debida rotura.



FOTO N°6: ENSAYO DE COMPRESIÓN DE PRUEBA

DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE MUROS CON TIERRA  
ESTABILIZADA APILADA COMPACTADA SEGÚN LA NORMA E.080

TABLA N° 04 : ENSAYO DE PRUEBA (COMPRESIÓN)				$f'c = \frac{P}{A}$ <i>P = carga</i> <i>A = área transversal (10 cm<sup>2</sup>)</i>	
fecha y hora:		07/03/2019 10:00 a.m.			
Dimension Estándar:		10 cm x10 cm x 15 cm			
Resistencia Ultima:		10.2 (kg/cm <sup>2</sup> )			
COMBINACIÓN	MUESTRA	PESO (Kg)	CARGA (Kg)	RESISTENCIA (Kgf/cm <sup>2</sup> )	R. PROMEDIO (Kgf/cm <sup>2</sup> )
e=1cm 10 golpes	1	2.37	278.3	27.83	26.51
	2	2.41	255.7	25.57	
	3	2.82	258.6	25.86	
	4	2.36	267.9	26.79	
e=1cm 15 golpes	1	2.43	333.3	33.33	32.00
	2	2.44	302.7	30.27	
	3	2.64	315.5	31.55	
	4	2.35	328.4	32.84	
e=1cm 25 golpes	1	2.78	879.0	87.9	72.53
	2	2.73	646.2	64.62	
	3	2.85	687.5	68.75	
	4	2.49	688.6	68.86	
e=2cm 15 golpes	1	2.39	140.0	14	17.50
	2	2.34	181.4	18.14	
	3	2.35	192.8	19.28	
	4	2.22	185.6	18.56	
e=2cm 25 golpes	1	2.60	582.2	58.22	60.05
	2	2.66	626.3	62.63	
	3	2.40	591.0	59.1	
	4	2.57	602.5	60.25	

### 3.5.5. Ensayo de “COMPRESIÓN”:

En primer lugar, se procedió a elaborar 28 bloques de 10 cm x 10 cm x 15 cm en moldes de madera contraplacada, con un promedio de 30 capas de TEAC, donde por cada capa se realizaron 25 golpes aproximadamente, luego se dejó secar teniendo en cuenta que la rotura de estos serían periódicamente desde la primera hasta la cuarta semana de secado.



FOTO N°7: ELABORACIÓN DE CUBOS DE 10X10X15 (CM)

Luego se procedió a realizar los ensayos de compresión en laboratorio, colocando cada bloque en la prensa para su debida rotura.



FOTO N°8: ENSAYO DE COMPRESIÓN

DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE MUROS CON TIERRA ESTABILIZADA APILADA COMPACTADA SEGÚN LA NORMA E.080

TABLA N° 05: ENSAYO DE COMPRESIÓN					$f'b = \frac{P}{A}$ P = carga A = área transversal (10 cm <sup>2</sup> )		
fecha y hora:		20/11/2018	10:30 a.m.				
mension Estándar:		10 cm x 10 cm x 15 cm					
Resistencia Ultima:		10.2 (kg/cm <sup>2</sup> )					
SEMANA	ENSAYO	NÚMERO DE MUESTRA	PESO (Kg)	CARGA (Kgf)	RESISTENCIA (Kgf/cm <sup>2</sup> )	R. PROMEDIO (Kgf/cm <sup>2</sup> )	
1	1	1.1	2.57	802.7	80.27	68.42	
	2	1.2	2.29	215.4	21.54		
	3	1.3	2.51	602.4	60.24		
	4	1.5	2.38	291.5	29.15		
	5	2.2	2.49	617.8	61.78		
	6	3.1	2.59	612.9	61.29		
	7	3.7	2.71	785	78.5		
2	1	1.6	2.43	902	90.2	99.32	
	2	1.7	2.71	941.2	94.12		
	3	2.4	2.6	1021.3	102.13		
	4	2.5	2.69	893.7	89.37		
	5	3.5	2.69	1009	100.9		
	6	4.2	2.71	1092.6	109.26		
	7	4.4	2.72	892.4	89.24		
3	1	1.4	2.67	1181.4	118.14	119.32	
	2	2.1	2.61	1110.1	111.01		
	3	2.3	2.64	1203.9	120.39		
	4	2.6	2.73	1163.8	116.38		
	5	3.3	2.71	1177.1	117.71		
	6	3.6	2.81	1202.7	120.27		
	7	4.1	2.74	1200.9	120.09		
4	1	2.7	2.74	1628.3	162.83	155.84	
	2	3.2	2.92	1555.6	155.56		
	3	3.4	2.82	1421.7	142.17		
	4	4.3	2.79	1391.5	139.15		
	5	4.5	2.79	1476.1	147.61		
	6	4.6	2.86	1308.4	130.84		
	7	4.7	2.72	1710.2	171.02		

### 3.5.6. Ensayo de “TRACCIÓN”:

En primer lugar, se procedió a elaborar los cilindros en moldes de tubería de 6” x 12” o 15.24 cm x 30.48 cm, con un promedio de 60 capas de TEAC, donde por cada capa se realizaron 35 golpes aproximadamente.



FOTO N°9: ELABORACIÓN DE CILINDROS DE 6''x12''

Luego se procedió a realizar los ensayos de tracción en laboratorio, colocando cada cilindro en la prensa para su debida rotura.



FOTO N°10: ENSAYO DE TRACCIÓN



TABLA N° 06: ENSAYO DE TRACCIÓN				
fecha y hora:		30/11/2018   10:00 a.m.		$V_m = \frac{2P}{\pi DL}$ <i>P = carga</i> <i>D = diámetro</i> <i>L = longitud</i>
Dimensión Estándar:		15.24 cm x 30.48 cm		
Peso de PLATINA:		4.49	(kg)	
Resistencia Ultima		0.81	(kg/cm <sup>2</sup> )	
ENSAYO	NÚMERO DE MUESTRA	PESO (Kg)	CARGA (Kgf)	RESISTENCIA (Kgf/cm <sup>2</sup> )
1	1	9.941	689.08	0.94
2	2	10.612	716.09	0.98
3	3	10.328	459.39	0.63
4	4	9.849	640.59	0.88
5	5	9.466	817.19	1.12
6	6	9.011	314.99	0.43
		PROMEDIO	715.74	0.98

### 3.5.7. Ensayo de “COMPRESION DE MURETE”:

En primer lugar, se procedió a elaborar los muretes en moldes de madera contraplacada de 15 cm x 30 cm x 45 cm, con un promedio de 90 capas de TEAC, donde por cada capa se realizaron 55 golpes aproximadamente.



FOTO N°11: ELABORACIÓN DE MURETES DE 15 cm x 30 cm x 45 cm

DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE MUROS CON TIERRA ESTABILIZADA APILADA COMPACTADA SEGÚN LA NORMA E.080

Luego se procedió a realizar los ensayos de compresión de muretes en laboratorio, colocando cada murete en la prensa para su debida rotura.



FOTO N°12: ENSAYO DE COMPRESIÓN DE MURETES

TABLA N° 07: ENSAYO DE COMPRESIÓN DE MURETES					$f_m = \frac{P}{A}$ <i>P = carga</i> <i>A = área transversal</i> (450 cm <sup>2</sup> )
<b>fecha y hora:</b>		30/11/2018	4:00 p.m.		
<b>Dimensión Estándar:</b>		15 cm x 30 cm x 45 cm			
<b>Peso de PLATINA:</b>		4.49	(kg)		
<b>Resistencia Ultima</b>		6.12	(kg/cm2)		
ENSAYO	NÚMERO DE MUESTRA	PESO (Kg)	CARGA (Kgf)	RESISTENCIA (Kgf/cm2)	
1	1	57	4571.3	10.16	
2	2	59,9	4809.2	10.69	
3	3	55.1	4343.6	9.65	
4	4	60.3	4926.3	10.95	
5	5	58.0	4701.2	10.45	
6	6	58.5	4891.7	10.87	
PROMEDIO			4832.1	10.74	

### 3.5.8. Ensayo de “TRACCIÓN INDIRECTA DE MURETE”:

En primer lugar, se procedió a elaborar los muretes en moldes de madera contraplacada de 65 cm x 65 cm x 15 cm, con un promedio de 120 capas de TEAC, donde por cada capa se realizaron 65 golpes aproximadamente.



FOTO N°13: ELABORACIÓN DE MURETES DE 15 cm x 60 cm x 60 cm

**DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE MUROS CON TIERRA ESTABILIZADA APILADA COMPACTADA SEGÚN LA NORMA E.080**

Luego se procedió a realizar los ensayos de compresión de muretes en laboratorio, colocando cada murete en la prensa para su debida rotura.



FOTO N°14: ENSAYO DE TRACCIÓN INDIRECTA DE MURETES

TABLA N° 08 : ENSAYO DE TRACCIÓN INDIRECTA				$f't = \frac{P}{2ae}$ <p><i>P = carga</i> <i>a = largo</i> <i>e = espesor</i></p>
<b>fecha y hora:</b>		07/03/2019   10:00 a.m.		
<b>Dimensión Estándar:</b>		65cm x 65cm x 15xm		
<b>Peso de PLATINA:</b>		6.33	(kg)	
<b>Resistencia Ultima</b>		0.25	(kg/cm2)	
ENSAYO	NÚMERO DE MUESTRA	PESO (Kg)	CARGA (Kgf)	RESISTENCIA (Kgf/cm2)
1	1	71.2	922.1	0.47
2	2	69.5	629.7	0.32
3	3	73.5	753.4	0.39
4	4	70.8	891.2	0.46
5	5	71.6	795.6	0.41
6	6	75.1	901.5	0.46
<b>PROMEDIO</b>			877.60	0.45

## 4. RESULTADOS

### 4.1. Análisis e interpretación de resultados

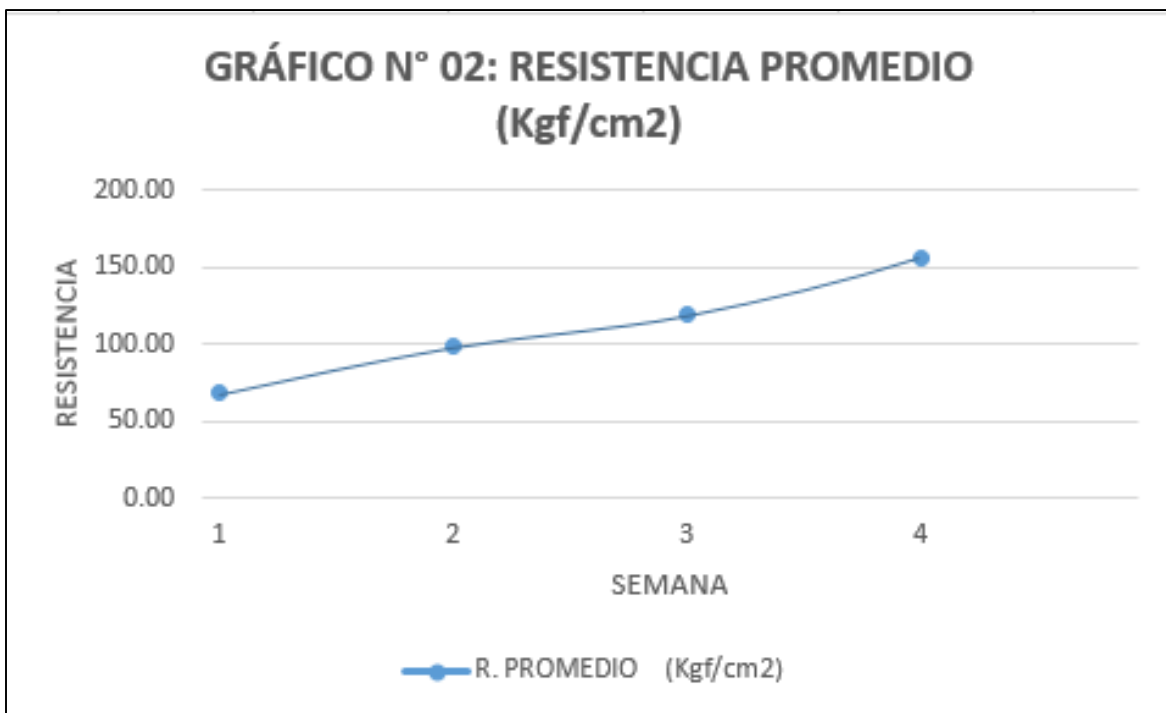
- **Ensayo de Compresión de Prueba en Bloques de 10x10x15cm**

Este ensayo nos dio un punto de partida para las siguientes pruebas, obteniendo los resultados que se presentan en la Tabla N°04 y en el Gráfico N° 01, se aprecia como la variación entre el espesor de la capa y el número de golpes para su compactación influye notablemente en su resistencia, concluyendo que la mejor combinación es la elaboración por capas de un espesor de 1cm con 25 golpes para su compactación.



- **Ensayo de Compresión en Bloques de 10x10x15cm**

Teniendo por un lado como resistencia última dada por la norma, un valor de 10.2 kgf/cm<sup>2</sup>, y que este valor fue considerado a los 28 días de la fabricación de los bloques, por otro lado tenemos la gráfica de los resultados del experimento obtenidos en el laboratorio:



Nos podemos dar cuenta que desde la primera semana ya presenta una resistencia superior a la requerida en la norma (68.42 kgf/cm<sup>2</sup>). Para la semana cuatro, el valor promedio es de 155.84 kgf/cm<sup>2</sup>, quince veces más resistente que la requerida por la norma.

- **Ensayo de Tracción en Cilindros de 15.24x30.48cm**

El ensayo arrojó resultados por encima de la resistencia impuesta en la norma, aunque no fue tan superior como en el ensayo de compresión anterior, los resultados nos arrojaron un promedio de 0.98 kgf/cm<sup>2</sup> entre las cuatro mejores muestras.

- **Ensayo de Compresión en Muretes de 30x15x45cm**

El ensayo arrojó un promedio de 10.74 kgf/cm<sup>2</sup>, valor que sobrepasa lo estipulado en la norma, aun así se tiene presente que el manómetro usado en el laboratorio alcanzaba su límite con cada prueba y por recomendación no se siguió aumentando la carga ya que podía averiarse el instrumento.

- **Ensayo de Tracción Indirecta en Muretes de 65x65x15cm**

Con este ensayo notamos que el aumento de resistencia de las muestras (asi como en el ensayo brasileño) no es tan notable pero si sobrepasa los parámetros impuestos por la norma, teniendo un promedio de 0.45kgf/cm<sup>2</sup> como resultado de nuestros ensayos.

#### 4.2. Prueba de hipótesis

A continuación se presenta la tabla N° 09 con la comparación entre las resistencias dadas en la norma y las arrojadas por los ensayos de laboratorio, datos que se tomaron a los 28 días de secado de las muestras, como lo manda la norma:

TABLA N° 09: RESUMEN DE RESULTADOS		
ENSAYOS UTILIZADOS	RESISTENCIAS ÚLTIMAS (NORMA E 080)	RESISTENCIAS DE TEAC (ENSAYOS)
COMPRESIÓN BLOQUES	10.20 Kgf/cm <sup>2</sup>	155.84 Kgf/cm <sup>2</sup>
TRACCIÓN CILINDROS	0.81 Kgf/cm <sup>2</sup>	0.98 Kgf/cm <sup>2</sup>
COMPRESIÓN MURETES	6.12 Kgf/cm <sup>2</sup>	10.74 Kgf/cm <sup>2</sup>
TRACCIÓN INDIRECTA MURETES	0.25 Kgf/cm <sup>3</sup>	0.45 Kgf/cm <sup>3</sup>

Se puede determinar que esta nueva modalidad de construcción con tierra es más resistente que la planteada en la norma, por lo tanto, cumple con los parámetros de seguridad establecidos en esta.



## 5. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

- Los resultados de los ensayos preliminares nos indicaron que esta tierra tiene las condiciones óptimas para el experimento, ya superó cada una de estas pruebas al contar con el nivel de arcilla adecuado.
- En la elaboración de los bloques y muretes con moldes de madera contraplacada y los cilindros con moldes de tubo de pvc se presentó la dificultad en el encofrado y desencofrado, ya que no contábamos con los instrumentos adecuados y precisos para estos procesos, por lo cual el tiempo de elaboración de cada uno fue superior al estimado.
- El ensayo de compresión de prueba de los 20 bloques de 0.10x0.10x0.15m se determinó que la combinación óptima entre capas de compactación y golpes de compactado debe ser de 1 cm de espesor por cada capa con un promedio de 25 golpes en cada una de las capas.
- El ensayo de compresión de los 28 bloques de 0.10x0.10x0.15m determinaron que los resultados cumplen con los parámetros establecidos.
- En los resultados del ensayo de tracción de los 6 cilindros de 6"x12" nos indican que son óptimos a los parámetros de la Norma.
- En la realización del ensayo de compresión de muretes de 0.15x0.30x0.45m tuvimos el inconveniente de que el manómetro había llegado a su límite y los muretes solo presentaban fractura superficial por aplastamiento, lo cual nos llevó a la conclusión de no seguir aumentando carga ya que el instrumento podía llegar a averiarse.
- En la realización del ensayo de tracción indirecta de muretes de 0.15x0.60x0.60m los resultados fueron favorables con al compararlos con las Norma.
- En una comparación entre la resistencia obtenida en el ensayo de compresión de bloques y la resistencia de un ladrillo tipo IV, conocido como King Kong industrial, la cual es 130 kgf/cm<sup>2</sup> (dato obtenido de una ficha técnica de Aceros Arequipa), se concluye que los bloques de tierra apilada

compactada son más resistentes, lo cual da respaldo al trabajo presentado en cuanto a factor de seguridad. En cuanto al ensayo de tracción, se puede asumir que los resultados no fueron muy superiores, sin embargo, se logró lo esperado en el planteamiento de este trabajo. Para el ensayo de compresión de muretes, pudimos notar en las pruebas que, si bien el manómetro alcanzaba su cifra máxima, los muretes solo se veían afectados superficialmente al momento de alcanzar este punto, por esto se tomaron los datos más aproximados al límite del instrumento.

## CONCLUSIONES

- Los ensayos previos de campo en el terreno del distrito de Moche nos arrojaron buenos resultados para el trabajo de investigación, siendo este, un suelo con un aproximado de 50% de arcilla en su composición, comportándose adecuadamente con las futuras pruebas (pág. 33-35).
- En el ensayo de compresión de prueba de los bloques de 10x10x15 cm, los resultados fueron favorables con los espesores de 1cm y 2cm por cada capa y un promedio de 25 golpes en cada una de ellas; esto nos lleva a la conclusión de que el número de golpes debe ser igual o mayor a 25 golpes en un espesor máximo de 1 cm (pág. 36-37; 45).
- En el ensayo de compresión de los bloques de 10x10x15 cm, los resultados fueron aproximadamente 15 veces más resistentes que el valor requerido por la norma para este ensayo (155.84 kgf/cm<sup>2</sup>), esto nos da a entender que también se puede trabajar con ladrillos o bloques fabricados de tierra estabilizada compactada. También nos podemos dar cuenta en el Gráfico N° 02 que la resistencia puede aumentar aún más aumentando el tiempo de secado, esto se puede ver comparando el promedio de la primera semana de secado con el promedio de la última semana, nos dice que la resistencia promedio aumentó un 56.1% (pág. 38-39; 48)
- El ensayo de tracción de cilindros de 6x12” arrojó resultados superiores con respecto a la resistencia última brindada en la norma (0.98 kgf/cm<sup>2</sup>), teniendo en cuenta que la tierra no actúa muy bien cuando se somete a tracción, se esperaba que los resultados fueran similares, pero se llegó a la conclusión que la cal aumenta también esta característica (pág. 40-41; 48).
- En el ensayo de compresión de muretes de 15x30x45cm. se superaron las marcas dadas en la norma con una resistencia promedio de 10.74 kgf/cm<sup>2</sup>, los resultados fueron positivos, teniendo en cuenta que las muestras no tuvieron ningún elemento de arriostre (pág. 41-42; 48).

- Se concluye que la resistencia final de nuestra prueba (0.45kgf/cm<sup>2</sup>) duplica aproximadamente al parámetro dado por la norma, mostrando que la combinación de tierra y cal con un proceso de compactación también aumenta esta característica mecánica del material (pág. 43-44; 48).
- Por otro lado, los datos sobrepasaron las expectativas planteadas al inicio de la investigación de acuerdo a los valores tomados de la norma. Los resultados mostrados en la Tabla N° 09 nos muestran la superioridad de esta nueva modalidad de construcción con tierra con resistencias promedio de:  $f'_b = 155.84\text{kgf/cm}^2$ ;  $V_m = 0.98\text{kgf/cm}^2$ ;  $f_m = 10.74\text{kgf/cm}^2$  y  $f'_t = 0.45\text{ kgf/cm}^2$  (pág. 48).

## RECOMENDACIONES

- Para futuras investigaciones de este tipo se recomienda utilizar una tierra cernida en buen estado y que no presente muchos residuos, tanto orgánicos como inorgánicos, para que esta sea adecuada para su manejo en el compactado.
- En los bloques se recomienda utilizar moldes exactos, en buen estado y con facilidades para el encofrado y desencofrado, aplicando lubricantes al momento de encofrar y proteger las muestras con una capa de barniz para su mejor manipulación.
- Se recomienda verificar el calibrado de las prensas y los utensilios que se usan en ellas, así como la gata hidráulica y sus demás partes. Para así obtener unos resultados con un error mínimo.
- Se recomienda que el tiempo de secado en las probetas sea más amplio para ver si la resistencia aumenta, así como dar un mejor cuidado al exponerlo a la intemperie. Para que así el cuadro de resultados arroje una variación y se pueda dar una buena discusión de ellos.
- Para aumentar la tracción de los muros se recomienda agregar elementos de refuerzo como las varillas de caña (como se presentan en la norma) o también con varillas de acero.
- Para los ensayos futuros con muretes de tierra estabilizada apilada compactada se recomienda agregar elementos de arriostre para ver el comportamiento en conjunto.
- Para que esta alternativa de construcción sea adecuada y viable, se recomienda seguir los pasos y recomendaciones que nos brinda la Norma E.080 y así construir con éxito estos módulos.

## REFERENCIAS

Libro:

Reglamento Nacional de Edificaciones. (2017). Norma E.080: Diseño y Construcción con Tierra Reforzada. Perú: Ministerio De Vivienda, Construcción Y Saneamiento.

Libro:

María Fernández, José Mirão, Ana Velosa, Antonio Candeias. (2010). Estabilización de Tierra con Cal – Ventajas y Desventajas. Lisboa, España: CEAUCP, Coímbra IGESPAR.

Libro:

Luis Fernando GUERRERO BACA. (2016). Tierra Apilada Compactada (TAC) para la Edificación Sostenible. México: UAM-Xochimilco.

Libro:

Gernot Minke. (2005). Tecnicas Para Apisonar, Verter Y Bombear Barro Alivianado. En Manual De Construcción En Tierra (103). Uruguay: Fin De Siglo.

Libro electrónico:

Domínguez y Schifter. (1995). Las Arcillas: El Barro Noble. México: Fondo De Cultura Económica.

Recuperado el 01/10/2018 de:

<http://bibliotecadigital.ilce.edu.mx/sites/ciencia/volumen3/ciencia3/109/html/arcillas.html>

Libro electrónico:

Pasivhaus Burgos Arquitectos. (2017). Construcción con Tierra.

Recuperado el 17/11/18, de META2020 Sitio web:

<https://www.meta2020arquitectos.com/construccion-con-tierra/>

Revista electrónica:

Julio Vargas Neumann, Stephanie Gil, Frédérique Jonnard & José Montoya. (2015). Camino Prehispánico Pando. 26/09/2018, de Pro Terra

Sitio web:

<http://www.revistas.usach.cl/ojs/index.php/amasc/article/viewFile/2863/2599>