

COMPORTAMIENTO DE LAS EDIFICACIONES CON TIERRA CRUDA DESPUES DEL TERREMOTO DE SEPTIEMBRE DEL 2005 CIUDAD DE LAMAS-PERU

Luis Enrique Flores Bravo*¹ - Isabel Moroni Nakata²

¹Colegio de Arquitectos del Perú, lema_flores@yahoo.es

²Colegio de Ingenieros del Perú, imoromi@yahoo.com

Comité Técnico Especializado para la Actualización de la Norma
para la Construcción con Tierra Cruda

Palabras clave: edificaciones – terremoto - Lamas

Resumen

Lamas está ubicada aproximadamente a 21 Kilómetros al noroeste de la ciudad de Tarapoto, la de mayor crecimiento económico y urbano en la Región de San Martín en la selva norte del Perú. La ciudad de Lamas tiene una topografía accidentada y, se encuentra en la cima de un cerro de unos 1000 metros de altura. Sus calles son empinadas y, su composición urbana está dispuesta en “terrazas”, motivo por el cual el sabio Antonio Raymondi la denominó “la ciudad de los tres pisos”: el primer piso de los indios chancas, el segundo piso de los mestizos y, el tercer piso como “mirador”.

El 25 de Setiembre de 2005 se produjo un terremoto de 7.0 grados de magnitud en la escala de Richter. El Instituto Geofísico del Perú (IGP) informó que el epicentro del terremoto se registró a 90 kilómetros al suroeste de la ciudad de Moyabamba, en la Región de San Martín, a 100 kilómetros de profundidad. El sismo, duró 50 segundos.

Fueron afectadas parte de las edificaciones, especialmente las construidas con adobe y tapial, ubicadas hacia el centro de la ciudad. Sin embargo, se han encontrado muchas edificaciones cuyo comportamiento han sido aceptable, a pesar de tener algunas más de 100 años de construidos.

Las paredes de las edificaciones están hechas a base de arcilla amarilla apisonada, colocada en forma de paños de un espesor entre 30 y 65 cms. Estos paños van colocados en forma trabada entre si.

El piso lleva un relleno de tierra amarilla y sobre ella van colocadas los ladrillos asados para piso, estos asentamientos se realizan sin ningún aditivo industrial.

El techo esta constituido por un cielorraso hecho a base de cañabrava (madera) y sobre ella una capa de arcilla (con el fin de mantener el ambiente interior fresco). Sobre este cielorraso se arma los tijerales hechas a base de madera de la zona (quinilla) y, se coloca las tejas de arcilla sobre ellas en forma trabada. Entre el techo y el cielorraso se forma un espacio que se denomina terrado.

Ubicación y población

LAMAS está ubicada aproximadamente a 21 Kilómetros al noroeste de la ciudad de Tarapoto (aproximadamente a 30 minutos en auto), la de mayor crecimiento económico y urbano en la Región San Martín en la selva norte del Perú.

Límites:

- Al norte con la Región Loreto
- Al este con la provincia de San Martín (Región San Martín).
- Al sur con la provincia de Picota (Región San Martín), y
- Al oeste con la provincia de El Dorado y la provincia de Moyobamba (Región San Martín).

LAMAS es una ciudad pequeña que, mide aproximadamente 1.5 Km de largo y 1Km de ancho, tiene poco más de 10,000 habitantes.

Reseña Histórica

Hacia 1538, el Corregidor de Cajamarca y Chachapoyas, Riva Herrera inició la conquista armada de los territorios al este de la recién fundada ciudad de Moyobamba, llegando hasta el Medio Huallaga. Durante esta campaña, fue fundada la que hoy es la ciudad de Lamas, originalmente un fuerte alrededor del cual fueron reunidos seis diferentes grupos: los tabalosos, **los lamas**, los amasifuynes, los cascabosoas, los jaumuncos y los payanos, además de miembros de otras tribus como los suchichis y los muniches. Estas poblaciones fueron repartidas en encomiendas.

Durante el siglo XVII, estos indígenas pacificados se transformaron en una unidad territorial. Tras la Independencia del Perú, se produjo una corriente migratoria hacia esta región, promovida a través de diferentes leyes dadas durante el gobierno de Castilla. A fines del siglo XIX, la población indígena de Lamas devino en una minoría étnica en la región.

Topografía

La ciudad de Lamas tiene una topografía accidentada y, se encuentra muy cerca de la cima de un cerro de unos 1000 metros de altura. Sus calles son empinadas y, su composición urbana está dispuesta en “terrazas”, motivo por el cual el sabio Antonio Raymondi la denominó “la ciudad de los tres pisos”: el primer piso de los indios chancas, el segundo piso de los mestizos y, el tercer piso como “mirador”.

Movimiento Sísmico

A las 8.55pm del 25 de Setiembre de 2005 sucedió un sismo en la región nor-oriental del Perú que produjo daños importantes en la Región San Martín, principalmente en la ciudad de Lamas y alrededores. Este tuvo una duración de 50 segundos.

El sismo ocurrió a una profundidad focal de 115 km y, alcanzó una magnitud de 7.5 Mw (NEIC). La Estación de Moyobamba de la Red Acelerográfica del CISMID-UNI (Centro Peruano Japonés de Mitigación de Desastres de la Universidad Nacional de Ingeniería) registró una aceleración máxima de 132 gal en la componente EW¹.

El Instituto Geofísico del Perú (IGP) informó que el epicentro del terremoto se registró a 90 kilómetros al suroeste de la ciudad de Moyabamba, en la Región San Martín.

Aspectos generales

Producto del sismo fueron afectadas parte de las edificaciones, especialmente las construidas con adobe y tapial, ubicadas hacia el centro de la ciudad. Sin embargo, se han encontrado muchas edificaciones cuyo comportamiento han sido aceptable, a pesar de tener algunas más de 100 años de construidos.

Muchas de estas edificaciones han mostrado signos de haber sufrido reparaciones y/o modificaciones para adaptarlas a nuevos usos o para “modernizarlas”.

Las edificaciones²

La mayoría de las viviendas en Lamas son de tapial y predominantemente de un piso, construidas en forma tradicional, con muros muy altos y, en general, con techos de madera y cobertura de tejas o láminas, apoyados directamente sobre los muros. La altura libre de las edificaciones es igual o mayor a los 3.00 metros

Las paredes de las edificaciones están hechas a base de arcilla amarilla apisonada, colocada en forma de paños de un espesor entre 30 y 65 cms. Estos paños van colocadas en forma trabadas entre si.

El piso lleva un relleno de tierra amarilla y sobre ella van colocadas los ladrillos cocidos para piso, estos asentamientos se realizan sin ningún aditivo industrial.

El techo esta constituido por un cielorraso hecho a base de cañabrava y madera y, sobre ella se coloca una capa de arcilla (con el fin de mantener el ambiente interior fresco). Sobre este cielorraso se arma los tijerales hechas a base de madera de la zona (quinilla), colocándose las tejas de arcilla cocida sobre la parte superior de los tijerales en forma trabada. Entre el techo y el cielorraso se forma un espacio que se denomina terrado.

Comportamiento de las edificaciones

Visitando la zona donde habían ocurrido los mayores daños, se inspeccionó al azar las edificaciones que se comportaron aceptablemente durante el sismo.

La primera observación es que la mayor parte de los daños se concentran en el centro de la ciudad, a lo largo de una de las vías principales, el Jr. San Martín, donde muchas viviendas sufrieron fallas graves que obligaron a su demolición, mientras que en la parte baja, alejada del centro, la mayor parte de las viviendas no presentaron daños significativos. Con lo que se aprecia la influencia del efecto de sitio debido a factores geológicos y de suelos en el comportamiento de las edificaciones.



Foto 1. Vivienda parcialmente demolida como consecuencia del sismo.

Puede haber influido también la antigüedad de las viviendas y el efecto de las modificaciones y de su deterioro por anteriores sismos.

Se observa que las construcciones de las partes bajas de la ciudad mantienen el diseño y construcción tradicional de muros con puertas pequeñas y sin ventanas o ventanas pequeñas



Foto 2. Vivienda de construcción tradicional ubicada en la parte baja de la ciudad de Lamas.

No obstante, lo mencionado, se ha encontrado en la zona central edificaciones antiguas que han presentado un buen comportamiento y otras que sufrieron daños menores, que sin embargo pueden haber quedado debilitadas en caso de futuros sismos, sino son reparadas. Las fallas presentadas en los muros son principalmente fisuras en las esquinas y en la zona de apoyo de los elementos de techos, por los esfuerzos de tracción en los encuentros de los muros y la concentración de cargas al no contar con elementos de distribución de las cargas del techo sobre el muro.

Para reducir las fisuras se ha ensayado agregar arena o paja y el control de la humedad, datos que podría obtenerse de los ensayos señalados y con recomendaciones en el procedimiento de construcción.

Es conveniente señalar también que estas recomendaciones son para construcciones nuevas, siendo necesario dar recomendaciones para las construcciones existentes que son aún numerosas.

Otra observación importante es que, en edificaciones que han presentado buen comportamiento en la parte frontal, sufrieron graves daños y colapso en el fondo de los lotes, al parecer por haberse construido sobre relleno, debido a que existe una importante diferencia en el nivel del terreno.

Es conocido que lo mostrado es el comportamiento de los suelos en general, respecto a las variaciones de humedad-densidad, lo que puede contribuir a la selección de suelos y a la determinación de la humedad más adecuada para cada caso específico. En general, los suelos utilizados son arcillas arenosas que, según estudios anteriores, se encuentran dentro de un huso granulométrico más o menos amplio.

Conclusiones preliminares

- 1) La construcción con tapial puede tener un adecuado comportamiento sísmico si se tiene presente su ubicación en condiciones apropiadas, desde el punto de vista geológico y de suelo, para lo cual es de suma importancia que se realice una microzonificación sísmica de la ciudad y se cumplan las recomendaciones para la cimentación de las edificaciones.
- 2) Es conveniente señalar que debido a la gran variedad de suelos, en la realidad se tendría problemas prácticos de selección y control de suelos y de control de la construcción, pensando en la gran cantidad de pobladores que autoconstruyen.

- 3) Debe tenerse en cuenta las dimensiones de los muros y de las aberturas, de acuerdo a la experiencia tradicional y a los estudios existentes sobre el particular.
- 4) Así mismo, el procedimiento constructivo que garantice la unión de los elementos en las esquinas y encuentros de los muros y la aplicación de elementos de unión y reforzamiento.
- 5) Es conveniente el uso de las vigas soleras o de amarre, que permita una distribución de las cargas del techo sobre los muros y contribuya a evitar la separación de los muros en los encuentros.
- 6) La observación de este tipo de construcciones muestra que, los problemas más graves se relacionan con el debilitamiento que sufre la construcción por la presencia de fisuras de contracción y la pobre unión que se genera entre los bloques y la poca resistencia a la tracción y flexión de los muros. Es por ello que, muchos estudios se han concentrado en tratar de reducir las fisuras de contracción y en proveer elementos de unión entre los bloques de tapiales y los encuentros de muros.
- 7) A pedido de los autores, la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional de San Martín está realizando el estudio de componentes de la tierra y, realizar Ensayos Proctor y Proctor modificado, que son pruebas estandarizadas de suelos, con la finalidad de encontrar la humedad adecuada para obtener la densidad máxima, correlacionada con la energía de apisonamiento.

Ensayo proctor para tapiales³

Estos ensayos tienen por finalidad determinar la relación humedad-densidad de un suelo compactado en un molde normalizado mediante un pisón de masa normalizada, en caída libre y con una energía específica de compactación. El ensayo consiste en compactar muestras de un mismo suelo, pero con distintas humedades y con la misma energía de compactación. Se registran las densidades secas y el contenido de humedad de cada molde para luego compararlas con la resistencia a la compresión de cada una de ellas.

Se han desarrollado dos pruebas para evaluar la máxima compactación de un suelo en el laboratorio: los ensayos de compactación con **esfuerzo normal** (Proctor normal - Norma NLT 107/72) y con **esfuerzo modificado** (Proctor Modificado - Norma NLT-108/72)⁴.

Una vez establecido el nivel de energía (Proctor Normal o Proctor Modificado) y dependiendo de la composición granulométrica del suelo, se establece el método a realizar de acuerdo a lo indicado en la siguiente tabla:

Características		Método	
		Proctor normal	Proctor modificado
	Masa del pisón	2,5 Kgs. (5,5 Lb.)	4,5 Kgs. (10 Lb.)
	Altura de caída pisón	305 mm. (12")	460 mm. (18")
A	Material	Bajo 5 mm. (Nº 4)	Bajo 5 mm. (Nº 4)
	Molde	100 mm. (4")	100 mm. (4")
	No de capas	3	5
	No de golpes por capa	25	25
B	Material	Bajo 5 mm. (Nº 4)	Bajo 5 mm. (Nº 4)
	Molde	150 mm. (6")	150 mm. (6")
	No de capas	3	5
	No de golpes por capa	56	56
C	Material	Bajo 20 mm. ($\frac{3}{4}$ ")	Bajo 20 mm. ($\frac{3}{4}$ ")
	Molde	100 mm. (4")	100 mm. (4")
	No de capas	3	5
	No de golpes por capa	25	25
D	Material	Bajo 20 mm. ($\frac{3}{4}$ ")	Bajo 20 mm. ($\frac{3}{4}$ ")
	Molde	150 mm. (6")	150 mm. (6")
	No de capas	3	5
	No de golpes por capa	56	56

Procedimiento para la fabricación de las muestras:

Tamizar la muestra del suelo a analizar por el tamiz de 5 mm. (malla N° 4 ASTM) para los métodos A y B y por el tamiz de 20 mm. (3/4" ASTM) para los métodos C y D⁵. El material retenido debe descartarse.

El tamaño de la muestra recomendada a ensayar para cada método, se indica en la siguiente tabla.

Diámetro del molde (mm)	Método	Masa mínima (gr)	Masa aproximada de cada fracción (gr)
100	A y C	15,000	3,000
150	B y D	30,000	6,000

La muestra debe acondicionarse mezclando cada una de las 5 fracciones por separado, con una cantidad de agua suficiente, de manera que cada una de ellas tenga una humedad diferente que varíe en aproximadamente dos puntos porcentuales entre sí y se distribuyan alrededor de la humedad óptima, dejando curar la muestra de modo de obtener una distribución homogénea de humedad, ya que para suelos de alta plasticidad, el plazo mínimo es de 24 horas, en cambio para suelos de plasticidad media bastará con 3 horas y en los suelos de plasticidad nula bastarán sólo 30 minutos de curado. Luego, el molde debe pesarse sin collarín (Mm), aproximando a 1 gr.

En suelos que contienen cantidades apreciables de partículas finas, la densidad relativa pierde sentido porque los valores de índices de huecos máximo y mínimo no tienen valores definidos.

En el sentido práctico, se ha observado que el valor máximo de la compactación de un suelo, para una energía fija de compactación, depende del contenido de humedad presente en el suelo en el momento de la compactación.

Estabilización por compactación

Una acción mecánica aumenta la compactación del material. La eficacia de este sistema de estabilización dependerá de la granulometría, del grado de compactación y del grado de humedad de la mezcla óptimo. La compactación se define como el proceso mecánico mediante el cual se disminuye la cantidad de huecos en una masa de suelo, obligando a sus partículas a un contacto más íntimo entre sí, es decir, a un aumento de la densidad de un material determinado para hacer más resistente al tapial.

Según CRA Terre "las altas presiones de compactación producen generalmente una caída de resistencia y durabilidad de los bloques. En la medida que la presión ejercida no sobrepase un máximo, cualquier material de estructura floccular es menos compresible que uno de estructura dispersa en igualdad de condiciones, con la compresión las partículas se acercan y en ambos casos la estructura tiende a ser dispersa con una compresibilidad semejante. Al descomprimirse el material crece, sobretodo si ha estado ejecutado a altas presiones. Por ello aconsejan limitar la presión a 40-60 daN/cm²".

Concluida la compactación, se retira el collarín y se enrasa el molde con la regla metálica. Los agujeros superficiales que se produzcan como resultado de la remoción de las partículas gruesas, deben sellarse con el mismo tipo de material, pero más fino.

Proceso de análisis

A.- Procedimiento para determinar la relación entre humedad y densidad seca del material:

Una vez que se haya pesado el molde con el suelo compactado, se retira el total de la muestra del molde y se extraen 2 muestras representativas para determinar el contenido de humedad.

Se repiten las operaciones anteriores con cada una de las fracciones restantes hasta que haya un decrecimiento en la densidad húmeda del suelo, realizando un mínimo de cinco (5) determinaciones. El ensayo debe efectuarse desde la condición más seca a la más húmeda. Los resultados permitirán construir un gráfico con la densidad seca del suelo compactado (como ordenada) contra la humedad (como abscisa); donde el punto más alto o Neca de la curva representa la Densidad Máxima Compacta Seca (DMCS) y su proyección en la abscisa humedad óptima (wopt)

B.- Determinación de la mayor resistencia a compresión simple:

En base al comportamiento de la curva anterior, es decir, de los distintos valores de densidad y humedad obtenidos en el ensayo de Proctor Modificado (cuadro 2) es que se van a confeccionar tres o más probetas con diversos valores de humedad con la intención de estimar una curva aproximada de resistencia a compresión simple para distintas densidades (ver cuadro 1).

Después de 7 días de secado se realiza la rotura de las probetas. Los resultados obtenidos por cada muestra, luego aparecen en la curva de resistencia al esfuerzo de compresión simple, correspondiente a una densidad de material del orden de la máxima de Proctor establecida en el ensayo de densidad, para determinar su resistencia en kg/cm^2 y elaborar la curva típica de ensayo (ver).

TRABAJO N° DENOMINACION MUESTRA N°

ENSAYO PROCTOR } NORMAL
 MODIFICADO

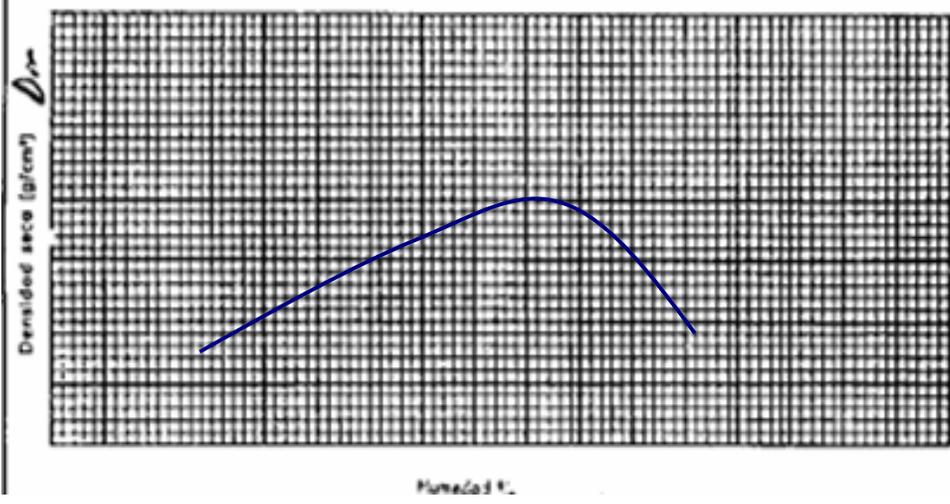
Molde: N.º de capas: Material utilizado:

Masa: N.º de golpes por capa: % de material no utilizado:

Altura de caída: Peso específico del material grueso:

Densidad	—	Punto n.º						
	—	% agua añadida						
	t + s + a	Molde + suelo + agua						
	t	Molde						
	s + a = (t + s + a) - t	Suelo + agua						
	$s = \frac{(s + a) 100}{100 + w}$	Suelo						
	$\rho = \frac{m}{V}$	Densidad						
Humedad	—	Referencia tara						
	t + s + a	Tara + suelo + agua						
	t + s	Tara + suelo						
	t	Tara						
	s = (t + s) - t	Suelo						
	a = (t + s + a) - (t + s)	Agua						
	$w = \frac{s}{s} \times 100$	Humedad %						

DENSIDAD MAXIMA HUMEDAD OPTIMA



Cuadro 1.- Determinación de la densidad máxima

Conclusiones del ensayo proctor para tapiales

Los ensayos más importantes que se realizan en laboratorio, mediante el compactado de probetas a las que se añade agua, son el Proctor o Proctor Normal, (PN) o estándar y el Proctor Modificado, (PM). En ambos ensayos se toman porciones de la muestra del suelo mezclándose con distintas cantidades de agua, se compactan en un molde y se apisonan mediante una maza tomando las anotaciones correspondientes de la humedad y densidad seca. Estos pares humedad-densidad seca (la humedad en %) se llevan a una gráfica de abcisas y ordenadas (humedad en abcisas y densidad seca en ordenadas) dibujándose con ello una curva suave y obteniéndose el punto donde se produce el máximo (densidad seca máxima-humedad óptima).

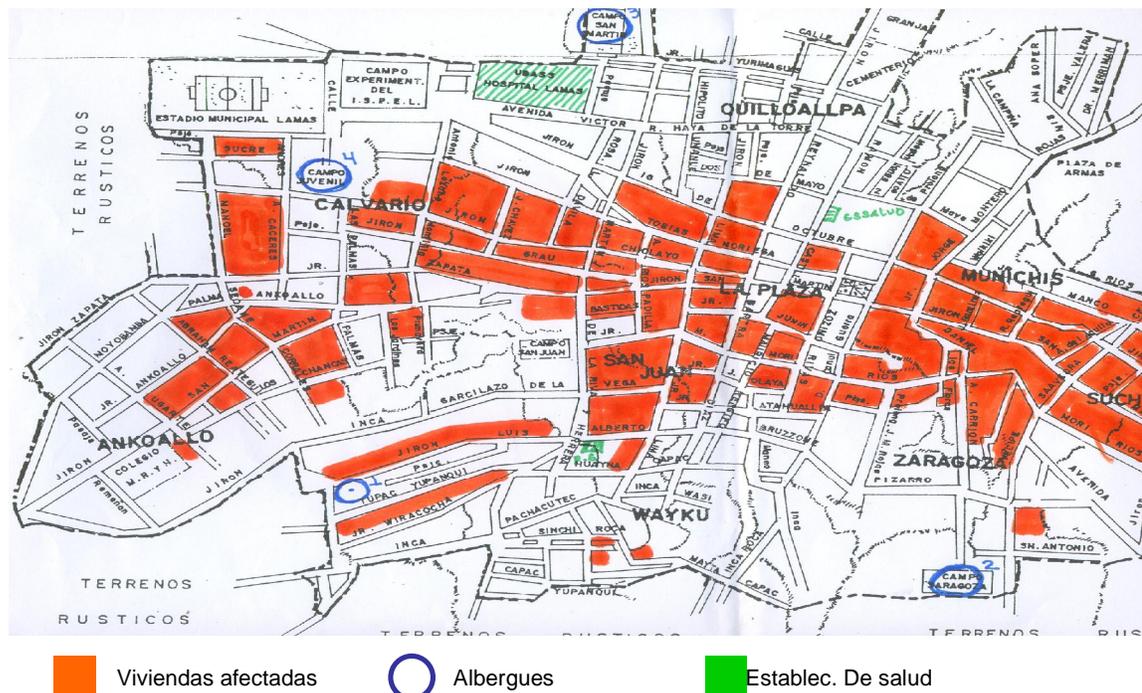
Se comprueba que al ir aumentando la humedad y compactando, la densidad seca va aumentando hasta llegar a un punto de máximo para el par densidad seca máxima-humedad óptima, a partir de este punto un aumento de humedad no supone mayor densidad seca sino al contrario una disminución de ésta.

Con los ensayos se pretende determinar los parámetros óptimos de la compactación que asegurarán las propiedades de resistencia del tapial buscadas. Esto se traduce en determinar cual es la humedad que se requiere con una energía de compactación dada para conseguir la densidad seca máxima y, consecuentemente, mayor resistencia a la compresión que pueda tener un tapial con el suelo analizado. A esta humedad se la define como **humedad óptima**, y es con la que se consigue la máxima densidad seca, para la energía de compactación dada. Igualmente se define como **densidad seca máxima** aquella que se obtiene para la humedad óptima.



Foto 3. Vivienda de dos pisos cuyo techo original fue cambiado antes del sismo edificado hace más de 30 años y, ubicado en una ladera de Lamas. Nótese que el estado de conservación post sismo es bastante bueno.

DISTRIBUCION ESPACIAL DE VIVIENDAS AFECTADAS POST DESASTRE
Distrito de Lamas. Provincia de Lamas. Región San Martín. Setiembre 2005



(Fuente: Dirección Regional de Defensa Civil)

Citas y notas

¹ Los archivos de datos de los acelerogramas obtenidos y sus correspondientes espectros de Fourier y de respuesta, se encuentran disponibles en la página web del CISMID <http://cismid-uni.org>.

² Los autores hemos contado con el apoyo de los alumnos de la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional de San Martín bajo la asesoría del Arq. Pablo Oswaldo Blaz M., quienes han realizado los planos de levantamiento de una veintena de edificaciones en la ciudad de Lamas.

³ El estudio “**Ensayo proctor para tapiales**” es una colaboración de Jorge Luis De Olarte del Centro de Estudios para la Edificación con Tierra y el Desarrollo Sostenible (CEETyDeS) y, miembro del Comité Técnico de la NTE E.080 ADOBE

⁴ Normas Proctor:

- Las distintas normativas que definen estos ensayos son las normas americanas ASTM D-698 para el ensayo Proctor estándar y la ASTM D-1557 para el ensayo Proctor modificado.
- En España existen las normas UNE 103-500-94 que define el ensayo de compactación Proctor Normal y la UNE 103-501-94 que define el ensayo Proctor Modificado.
- Norma Chilena: Proctor normal NCh 1534/I Of. 1979 y del ensayo Proctor modificado NCh 1534/II Of. 1979
- Otras Normas: AASHTO T99; NLT-108

⁵ En el método D es conveniente mantener el porcentaje de material grueso del material original (que pasa por el tamiz de 50 mm. y queda retenido en 5 mm.), para esto se debe efectuar un reemplazo, donde se determina por tamizado el porcentaje de material que pasa por el tamiz de 50 mm. y queda retenido en el tamiz de 20 mm. Luego, se reemplaza el material por una masa igual que pasa por el tamiz de 20 mm. y queda retenido en el tamiz de 5 mm., tomada de la porción de muestra no utilizada de suelo original.