



UNIVERSIDAD
PRIVADA
DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERIA

CARRERA DE INGENIERIA CIVIL

“INFLUENCIA DEL ESTABILIZANTE DE CEMENTO Y TIPOS DE SUELOS SOBRE LA RESISTENCIA Y DURABILIDAD DE UN ADOBE CONSTRUCTIVO, TRUJILLO”

Tesis para optar el título profesional de:

Ingeniero Civil

Autor:

Br. Juan Francisco Nureña Zavaleta

Asesor:

Ing. Iván Eugenio Vásquez Alfaro

Trujillo – Perú

2017

APROBACIÓN DE LA TESIS

El (La) asesor(a) y los miembros del jurado evaluador asignados, **APRUEBAN** la tesis desarrollada por el (la) Bachiller **Juan Francisco Nureña Zavaleta**, denominada:

**“INFLUENCIA DEL ESTABILIZANTE DE CEMENTO Y TIPOS DE SUELOS
SOBRE LA RESISTENCIA Y DURABILIDAD DE UN ADOBE CONSTRUCTIVO,
TRUJILLO”**

Ing. Iván Vásquez Alfaro
ASESOR

Ing. Alberto Vásquez Díaz
**JURADO
PRESIDENTE**

Ing. Josualdo Villar Quiroz
JURADO

Ing. Roxana Aguilar Villena
JURADO

DEDICATORIA

A Dios y a la Virgen María ya que me otorgan el milagro de la vida. Sin su presencia espiritual no podría haber seguido adelante en mis estudios y por darme esa luz para seguir esforzándome cada día más y no dejarme vencer.

*A mis padres **César** y **Teresa**, quienes siempre me apoyaron en la elección de mi carrera en todo momento así como en el desarrollo de la misma. Así mismo, por darme su amor, sus consejos y estar siempre atentos en mi salud y bienestar.*

*A mis hermanos **César** y **Miguel** por todas las vivencias que tenemos a diario y su apoyo para mi mejora profesional.*

*A mis abuelitos, por el amor que me dieron y me dan, en especial a mi abuelita **Rosa** y mi abuelo **José** quienes ya están en la gracia del señor. De la misma manera a mi abuelita **Margarita** a quien la tengo aun en vida y me sigue dando su apoyo y cariño.*

AGRADECIMIENTO

A Dios y a la Santísima Virgen María, ellos son los que me dan la fuerza diaria, son la luz que me orienta y son esa presencia espiritual a la que necesito aferrarme para poder seguir avanzando de la mejor manera en mi vida sin desviarme por el camino erróneo.

A mis padres, César y Teresa, con los que siempre estaré agradecido. Ellos han tenido a bien darme ese apoyo para poder conseguir esta profesión de manera incondicional siempre dándome su amor sincero y sus grandes consejos.

A mis hermanos César y Miguel, con quienes a pesar de las diferencia propias de hermanos siempre nos tenemos ese cariño y ese deseo para que cada uno pueda superarse y ser alguien de éxito en el futuro.

Al ingeniero Iván Vásquez Alfaro, quien es mi asesor, un gran profesional y mejor persona quien me ha brindado el tiempo necesario para ayudarme en el desarrollo de la tesis, por todos sus consejos otorgados, por la orientación y su forma de trabajo que logra hacerme captar sus enseñanzas de la mejor manera posible.

A los profesores de la facultad de ingeniería de la escuela de ingeniería civil, por su aporte a mi conocimiento y sus enseñanzas brindadas.

A mis fieles amigos de toda una vida quienes fueron parte de mi promoción de colegio y son parte importante en mi vida, siempre deseándonos lo mejor en nuestra futuro y apoyándonos para la exitosa consecución de nuestros logros.

A mis amigos que conocí en el estudio de mi carrera, formaron parte de mi vida e hicieron que el camino desde el inicio al término de la carrera sea confortable y agradable. Sin duda alguna esta etapa universitaria fue muy alegre, satisfactoria y de gran ambiente por ese grupo de amistad formado y que se conserva de la misma manera con el pasar de los años.

Juan Francisco Nureña Zavaleta.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

APROBACIÓN DE LA TESIS.....	2
DEDICATORIA.....	3
AGRADECIMIENTO	4
ÍNDICE DE CONTENIDOS	5
ÍNDICE DE TABLAS.....	7
ÍNDICE DE FIGURAS	10
RESUMEN.....	12
ABSTRACT	13
CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN.....	14
1.1. Realidad problemática	14
1.2. Formulación del problema.....	19
1.3. Justificación.....	19
1.4. Limitaciones	21
1.5. Objetivos	21
1.5.1. <i>Objetivo General</i>	21
1.5.2. <i>Objetivos Específicos</i>	21
CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO.....	23
2.1. Antecedentes	23
2.2. Bases Teóricas	28
2.2.1. <i>Suelos</i>	28
2.2.2. <i>Adobe</i>	39
2.2.3. <i>Resistencia a compresión de la unidad de adobe</i>	49
2.2.4. <i>Durabilidad en adobes</i>	49
2.3. Hipótesis	50
CAPÍTULO 3. METODOLOGÍA.....	51
3.1. Operacionalización de variables	51
3.1.1. <i>Variables dependientes</i>	51
3.1.2. <i>Variables independientes</i>	51
3.2. Diseño de investigación	53
3.3. Unidad de estudio	53
3.4. Población	53
3.5. Muestra	53
3.6. Técnicas, instrumentos y procedimientos de recolección de datos	55
3.6.1. <i>Técnicas e instrumentos</i>	55
3.6.2. <i>Procedimientos de recolección de datos</i>	55
3.7. Métodos, instrumentos y procedimientos de análisis de datos	68

3.7.1.	<i>Métodos e instrumentos.</i>	68
CAPÍTULO 4. RESULTADOS		69
4.1.	Caracterización física y mecánica de los adobes artesanales de Trujillo	69
4.1.1.	<i>Análisis físico de los adobes artesanales.</i>	69
4.1.2.	<i>Análisis mecánico de los adobes artesanales.</i>	70
4.2.	Análisis de la materia prima	71
4.2.1.	<i>Análisis físico - químico.</i>	71
4.3.	Tiempo de secado	74
4.4.	Ensayos mecánicos	75
4.4.1.	<i>Ensayo a la resistencia a compresión en equilibrio.</i>	75
4.4.2.	<i>Ensayo a la resistencia a compresión en adobe saturado.</i>	75
4.5.	Ensayos de durabilidad	76
CAPÍTULO 5. DISCUSIÓN		77
5.1.	Caracterización física y mecánica de los adobes artesanales de Trujillo	77
5.1.1.	<i>Análisis físico de los adobes artesanales.</i>	77
5.1.2.	<i>Análisis mecánico de los adobes artesanales.</i>	80
5.2.	Análisis de la materia prima	82
5.2.1.	<i>Análisis físico - químico.</i>	82
5.3.	Tiempo de secado	85
5.4.	Ensayos mecánicos	86
5.4.1.	<i>Ensayo a la resistencia a compresión en equilibrio.</i>	86
5.4.2.	<i>Ensayo a la resistencia a compresión en adobe saturado.</i>	89
5.5.	Ensayos de durabilidad	90
5.6.	Relación Costo - Beneficio	91
CONCLUSIONES		93
RECOMENDACIONES		95
REFERENCIAS		96
ANEXOS		98

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1: Dimensiones de adobes en Ecuador	15
Tabla 2.1: Compresión y porcentajes de absorción en el transcurso del tiempo	23
Tabla 2.2: Resultados de ensayos físicos al suelo	26
Tabla 2.3: Clases texturales del suelo	29
Tabla 2.4: Propiedades del suelo según textura	30
Tabla 2.5: Relación textura del suelo con la permeabilidad	30
Tabla 2.6: Condición del suelo por su humedad	33
Tabla 2.7: Propiedades físicas e hidráulicas de los suelo	33
Tabla 2.8: Tipo de suelo según sus densidades aparentes	37
Tabla 2.9: Clasificación de los suelos según su conductividad	39
Tabla 2.10: Cemento Portland tipo I conforme a la NTP 334.009 / ASTM C150	49
Tabla 3.1: Operacionalización de variables	52
Tabla 3.2: Plantilla de toma de datos de contenido de humedad	56
Tabla 3.3: Plantilla de toma de datos de análisis granulométrico	57
Tabla 3.4: Plantilla de toma de datos del límite líquido	59
Tabla 3.5: Plantilla de toma de datos del límite plástico	60
Tabla 3.6: Plantilla de toma de datos del análisis químico	62
Tabla 3.7: Porcentaje de Agua utilizada en conformación de adobes	64
Tabla 3.8: Plantilla de toma de datos del tiempo de secado	65
Tabla 3.9: Plantilla de toma de datos de los ensayos de compresión	66
Tabla 3.10: Plantilla de toma de datos de durabilidad	67
Tabla 4.1: Análisis granulométrico de los adobes artesanales	69
Tabla 4.2: Análisis físicos de los adobes artesanales	69
Tabla 4.3: Dimensiones de los adobes artesanales	70
Tabla 4.4: Análisis granulométrico de la materia prima	71
Tabla 4.5: Análisis físico de la tierra	72

Tabla 4.6: Granulometría de la tierra con porcentajes de arena	73
Tabla 4.7: Análisis químico de la materia prima	73
Tabla 4.8: Variación de pesos a los 27 días de secado.....	74
Tabla 4.9: Durabilidad de adobes estabilizados a una semana bajo agua	76
Tabla 5.1: Cuadro comparativo de los adobes artesanales.....	79
Tabla 5.2: Cuadro resumen de resistencia a compresión de los adobes artesanales	82
Tabla 5.3: Precio de los adobes y ladrillos artesanales en Trujillo.....	92
Tabla 5.4: Precio del adobe estabilizado con distintos porcentajes de cemento	92
Tabla 6.1: Condiciones de la venta de adobes en Trujillo	98
Tabla 6.2: Contenido de humedad de adobes artesanales	99
Tabla 6.3: Análisis granulométrico del adobe artesanal de Moche	99
Tabla 6.4: Análisis granulométrico del adobe artesanal de San Isidro	100
Tabla 6.5: Análisis granulométrico del adobe artesanal de Av. Villarreal.....	100
Tabla 6.6: Límite Líquido en adobes artesanales	101
Tabla 6.7: Límite plástico e índice de plasticidad en adobes artesanales	101
Tabla 6.8: Medidas de tres tipos de adobes artesanales	102
Tabla 6.9: Resistencia a la compresión de 3 tipos de adobes artesanales	103
Tabla 6.10: Contenido de Humedad – Tierra	104
Tabla 6.11: Análisis granulométrico de la tierra muestra 1	104
Tabla 6.12: Análisis granulométrico de la tierra muestra 2	105
Tabla 6.13: Análisis granulométrico de la tierra muestra 3	105
Tabla 6.14: Composición de las muestras de la tierra	106
Tabla 6.15: Límite Líquido de la tierra.....	107
Tabla 6.16: Límite plástico de la tierra	107
Tabla 6.17: Índice de plasticidad de la tierra	107
Tabla 6.18: Análisis granulométrico de la arena muestra 1.....	108
Tabla 6.19: Análisis granulométrico de la arena muestra 2.....	108
Tabla 6.20: Análisis granulométrico de la arena muestra 3.....	109

Tabla 6.21: Composición de las muestras de la arena.....	110
Tabla 6.22: Análisis granulométrico de la tierra con 10% de arena.....	111
Tabla 6.23: Análisis granulométrico de la tierra con 20% de arena.....	111
Tabla 6.24: Análisis granulométrico de la tierra con 30% de arena.....	112
Tabla 6.25: Análisis granulométrico de la tierra con 40% de arena.....	112
Tabla 6.26: Análisis granulométrico de la tierra con 50% de arena.....	113
Tabla 6.27: Composición de la tierra con porcentajes de arena	114
Tabla 6.28: Dosificaciones de mezcla en 10 adobes nuevos	114
Tabla 6.29: Tiempo de secado de los adobes elaborados	115
Tabla 6.30: Compresión de adobe en equilibrio de tipo de tierra 1	117
Tabla 6.31: Compresión de adobe en equilibrio de tipo de tierra 2	118
Tabla 6.32: Compresión de adobe en equilibrio de tipo de tierra 3	119
Tabla 6.33: Análisis estadístico de la resistencia a compresión del adobe en equilibrio	120
Tabla 6.34: Compresión en adobe saturado de tipo de tierra 1	121
Tabla 6.35: Compresión en adobe saturado de tipo de tierra 2	122
Tabla 6.36: Compresión de adobe saturado de tipo de tierra 3	123
Tabla 6.37: Análisis estadístico de la resistencia a compresión del adobe saturado	124
Tabla 6.38: Ensayo de durabilidad a 7 días bajo agua	125
Tabla 6.39: Análisis estadístico de la durabilidad a 7 días bajo agua	126

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1: Resistencia a la compresión de los adobes compactados	24
Figura 2.2: Prueba de absorción de los adobes compactados	24
Figura 2.3: Resistencia a la compresión en adobes con cemento	27
Figura 2.4: Triángulo de texturas.....	30
Figura 2.5: Agua capilar y agua higroscópica.....	34
Figura 2.6: Límites de Atterberg	35
Figura 2.7: Superficie química de la arena normal	41
Figura 2.8: Condiciones de humedad de los agregados	43
Figura 3.1: Dimensiones del adobe diseñado	53
Figura 3.2: Curva granulométrica	58
Figura 3.3: Copa de Casagrande	59
Figura 3.4: Curva de fluidez	60
Figura 3.5: Simbología de suelos	61
Figura 4.1: Curva granulométrica de los adobes artesanales de Trujillo	70
Figura 4.2: Resistencia a la compresión de los adobes artesanales de Trujillo	71
Figura 4.3: Curvas granulométricas de la materia prima y adobes artesanales	72
Figura 4.4: Variación de pesos de los adobes a 6 y 27 días de secado	74
Figura 4.5: Resistencia a la compresión en equilibrio de adobes	75
Figura 4.6: Resistencia a la compresión en adobe saturado	76
Figura 5.1: Resistencia a la compresión y contenido de cemento para 3 suelos	86
Figura 5.2: Sensibilidad al agua según el contenido de cemento y el índice de plasticidad. 90	
Figura 5.3: Variaciones de la contracción según el contenido de cemento	91
Figura 6.1: Curva de fluidez de adobes artesanales.....	101
Figura 6.2: Curvas granulométricas de la tierra.....	106
Figura 6.3: Curva de fluidez de la tierra	107
Figura 6.4: Curvas granulométricas de la arena	109

Figura 6.5: Curvas granulométricas de la tierra con diferentes porcentajes de arena.....	113
Figura 6.6: Comportamiento del adobe a 4 días de saturación en agua.....	127
Figura 6.7: Comportamiento del adobe de 5 a 7 días de saturación en agua.....	128
Figura 6.8: Visita a adoberas de Trujillo	129
Figura 6.9: Elaboración de discos de suelo con cemento a diferentes porcentajes	129
Figura 6.10: Elaboración de mezcla para los adobes.....	130
Figura 6.11: Adobes elaborados durante proceso de secado.....	130
Figura 6.12: Adobes en estado de saturación en agua	131
Figura 6.13: Adobes bajo agua durante 7 días.....	131

RESUMEN

En el presente trabajo de investigación, se evaluó la influencia del estabilizante de cemento y tipos de suelos en adobes constructivos sobre su resistencia a la compresión en condiciones de equilibrio, saturadas con agua, y su durabilidad.

El porcentaje de cemento es de: 0%, 3%, 6%, 9% y 12% del total del suelo para la elaboración de unidades de adobe; el tipo de suelo se consiguió al variar la arena y arcilla en 3 proporciones distintas: la primera entre 55 - 70% de arena y 45 - 30% de limos - arcilla, parámetros de la norma técnica de edificación (NTE) E.080; la segunda proporción de 50% de arena y 50% de limos – arcilla; y la tercera proporción de 75% de arena y 25% de limos – arcilla. Las dimensiones del adobe son: ancho 12.5 cm, alto 8.5 cm y largo 21.5 cm.

Previo al análisis de la materia prima y el conformado de adobes, se hizo una evaluación de los adobes ubicados en la zona de Trujillo.

Los adobes de la investigación fueron elaborados mediante un conformado manual aplicando un buen moldeado para que los resultados no se vieran afectados por el proceso de elaboración.

El tiempo de secado fue de 27 días, donde estuvieron almacenados bajo cubierta.

Los resultados más óptimos de la investigación son obtenidos a una estabilización de 12% de cemento con una proporción de 75% de arena y 25% de limos – arcilla por encima de lo especificado por la NTE E.080_2006 y NTE E.080_2017, con 48.2 kg/cm² por compresión en condiciones de equilibrio y 26.2 kg/cm² por compresión con saturación de agua por 24 horas.

Se pudo observar que la mejor combinación de tierra para un adobe sin la necesidad de usar el cemento como estabilizante es 50% de arena y 50% de limos - arcilla dando un valor de 25.7 kg/cm² en condiciones de equilibrio ya que en estado saturado se deshizo.

Todos los adobes estabilizados con cemento tienen buena respuesta de durabilidad a la presencia de agua de manera estática frente a un adobe común, puesto que al transcurso de 7 días sumergidos en ella solo los adicionados al 3% fueron afectados en su forma y peso al perder entre 18.1 – 30.3% de material siendo el más afectado el suelo con mayor cantidad de finos en su estructura, sin embargo a partir del 6% de cemento no hay pérdida de peso, es más estos aumentan ligeramente su peso inicial entre 0.1 – 2.4%. Cabe indicar que los adobes constructivos sin cemento se llegaron a deshacer en cuestión de horas.

Finalmente se ha puesto de manifiesto que la adición de cemento como estabilizante mejora las resistencias mecánicas del adobe y su durabilidad a partir de un 6%. Aun cuando los suelos inicialmente no puedan ser utilizados para la elaboración de adobe, se puede mejorar su comportamiento mecánico mediante la adición de arena, alcanzando al menos un porcentaje del 50% de la misma y siempre que el contenido de arcilla sea el adecuado

ABSTRACT

In the present research, were evaluated the influence of the cement's stabilization and soil's types in constructive adobes on their resistance to compression under equilibrium conditions, saturated with water, and their durability.

The percentage of cement is: 0%, 3%, 6%, 9% and 12% of the total soil for the production of adobe units; the soil type was able to vary the sand and clay in 3 different proportions: the first between 55 - 70% of sand and 45 - 30% of silt - clay, parameters of the technical norm of construction (NTE) E.080; the second proportion of 50% sand and 50% silt - clay; And the third proportion of 75% of sand and 25% of silt - clay. The dimensions of the adobe are: width 12.5 cm, height 8.5 cm and length 21.5 cm.

Before the analysis of the raw material and the formation of adobes, an evaluation of the adobes located in the area of Trujillo.

The adobes of the research were elaborated by means of a manual forming applying a good molding so that the results were not affected by the elaboration process.

The drying time was 27 days, where they were stored under cover.

The best results of the research are obtained a stabilization of 12% of cement with a proportion of 75% of sand and 25% of silt - clay above that specified by the NTE E.080, with 48.2 kg/cm² by compression at equilibrium conditions and 26.2 kg/cm² by compression with water saturation for 24 hours.

It can be seen that the best combination of soil for an adobe without the need to use the cement as a stabilizer is 50% sand and 50% silt - clay giving a value of 25.7 kg/cm² under equilibrium conditions since in a saturated state it was broken.

All stabilized adobes with cement have a good durability response to the presence of water in a static manner compared to a common adobe, since during the course of 7 days immersed in it only those added to 3% were affected in their shape and weight on losing Between 18.1 - 30.3% of material being the most affected the soil with more fines in its structure, however from 6% cement there is no weight loss, it is more these slightly increase their initial weight between 0.1 - 2.4%. It is possible to indicate that the adobes constructive without cement were undone in a matter of hours.

Finally it has been shown that the addition of cement as a stabilizer improves the mechanical strength of the adobe and its durability from 6%. Although soils cannot initially be used for the production of adobe, their mechanical behavior can be improved by the addition of sand, reaching at least 50% of the same and provided that the clay content is adequate.

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN

1.1. Realidad problemática

La construcción tradicional con tierra, en la actualidad aún está presente en gran parte del mundo. A lo largo de la historia de la humanidad el adobe ha jugado un papel fundamental en la sociedad.

La tierra sigue siendo el principal componente de construcción en las poblaciones con recursos económicos precarios, ya que es un material de fácil acceso, ilimitado y de eficiencia altamente contrastada. Este tipo de arquitectura es fundamental para las sociedades que levantan sus viviendas mediante la autoconstrucción. Por ello, aparte de ser un factor económico fundamental, se convierte en un importante factor social y clave a la hora de hablar de su papel en la vida de estas poblaciones. (Carcedo, 2012, p. 1). Además, las propiedades de la tierra en los cerramientos de estas casas se vuelven imprescindibles para las familias que viven en su interior. Sin embargo, con el desarrollo del concreto, las técnicas con el material de tierra han sido relegadas, además de los problemas que presenta como la baja durabilidad frente al agua y a la erosión.

Alrededor del 30% de los habitantes del mundo viven en casas de adobe, y aproximadamente una quinta parte de estas casas se encuentran en zonas propensas a terremotos. Los adobes son pesados, débiles y quebradizos, de manera que las casas se fisuran y se van destruyendo súbitamente durante los terremotos. Unas grandes grietas aparecen en los rincones y suben por los intersticios de las paredes, que entonces se separan, y aplastan a la gente cuando caen a la calle, además de causar el derrumbe de los techos (Blondet, 2010).

Las dimensiones de los adobes en Latino América son muy variadas, hay países donde tienen tamaños de acuerdo a la zona donde viven. En Ecuador generalmente la altura está entre 18 a 20 cm. (Siavichay y Narváez, 2010, p.23). También existen adobes con las otras dimensiones como se expresa en la tabla 1.1.

Tabla 1.1: Dimensiones de adobes en Ecuador

Origen	Dimensiones (cm)		
	Alto	Ancho	Largo
Vivienda del Gobernador y Quinta Lucrecia	15 a 18	18	39 a 40
Sector de Barabón (Azuay), y Chorocopte (Cañar)	21	17 a 19	40
Sector de Quilloac (Cañar)	12 a 20	20 a 25	40 a 50

Fuente: Siavichay y Narváez (2010)

En la actualidad existen distintos tipos de estabilizantes (el cemento, la cal, las emulsiones asfálticas) que han sido estudiados para la mejora de las propiedades tanto físicas, químicas y mecánicas de los adobes frente a las situaciones naturales que están expuestas. La estabilización química por impermeabilización consiste en añadir sustancias derivadas del petróleo.

El Suelo-Cemento se desarrolló y patentó en Estados Unidos hacia la década de 1920 para la construcción de carreteras y hacia finales de la década de 1960 se trabajó bastante sobre la estabilización de suelos con asfalto, lo que dio origen al programa Construcción con Bloques Estabilizados (COBE), para la construcción de viviendas con mejores unidades de adobe que no sean afectadas por la humedad, que es el principal problema que produce la desintegración de las mismas, porque el agua era absorbida por las partículas de arcilla y al emplear emulsión asfáltica en su elaboración, cada partícula de arcilla es recubierta por la emulsión asfáltica, que al evaporarse el agua, deja la partícula aislada y no podrá ser nuevamente hidratada (Arboccó, 2012, p.5).

En el Perú a lo largo del tiempo confluyeron varias culturas con tradición de construcción con tierra. Las tecnologías imperantes fueron la mampostería de adobe, el tapial (mampostería de tierra apisonada), y la quincha (bastidores de troncos de madera, caña o fibras vegetales, rellenos con tierra).

Chan Chan, la ciudad de adobe más grande de América, surgió entre los años 600 y 700 DC, cubre aproximadamente un área de veinte kilómetros cuadrados, y contiene gran cantidad de ambientes, edificios, plazas, pirámides ceremoniales y depósitos. La época colonial (1540 - 1821) se caracterizó también por el uso primordial y extensivo de la construcción con tierra. Durante la colonia, los españoles realizaron importantes obras de mampostería de adobe, tapial y posteriormente quincha. Muchas de las numerosas iglesias fueron construidas en tierra, con muros en adobe o tapial, y bóvedas y cúpulas en quincha. (Blondet, Vargas, Tarque, Iwaki, 2011, p. 42).

Analizando los resultados de los censos de vivienda realizados en los últimos 30 años en el Perú, se observa que a nivel nacional existen gran cantidad de viviendas construidas con tierra cruda (40% aproximadamente), sea en forma de tapial o de adobe. Sin embargo, este porcentaje va disminuyendo debido a que en las zonas urbanas se vienen demoliendo este tipo de edificaciones para dar paso a nuevas construidas a base de ladrillo y concreto armado, generalmente multifamiliares, debido a las necesidades del crecimiento urbano y a los cambios de zonificación.

En las zonas rurales continúa utilizándose el adobe y tapial, llegando a más del 60% debido a la existencia del material a costo cero. (Arboccó, 2012, p.5).

El Perú se encuentra ubicado en la zona más sísmica de Sudamérica. Un ejemplo de ello es el terremoto ocurrido en Pisco el año 2007, causando la muerte de 600 personas y el derrumbe de alrededor 75 000 viviendas.

La construcción tradicional de viviendas a base de adobes en nuestro país se realiza informalmente, sin asesoría técnica; por ello, la calidad de estas construcciones es generalmente muy baja.

La Norma Técnica de Edificación E.080, es la única normativa de adobe que controla las construcciones con este material en el Perú; sin embargo, no es tomada en consideración en la mayoría de construcciones.

En zonas sísmicas donde se construye con tierra, la Norma Técnica de Edificación E.030 divide al Perú en 4 zonas sísmicas siendo la zona 4 la de mayor probabilidad, como la costa y sierra que mayormente están determinadas como zona 3 y 4 cada vez que ocurre un terremoto colapsan muchas construcciones de este material, causando considerables pérdidas económicas y lamentables pérdidas de vidas. Estas deficiencias en las construcciones con adobe se deben a que se realizan edificaciones fuera de lo que la norma de diseño sismorresistente considera como aceptable. Aparte de la mala calidad del material en cuanto a una baja resistencia de compresión, se construyen casas con alturas no permitidas; en la serranía existen casas hasta con 3 niveles de altura. Si bien es cierto, la norma permite un diseño hasta 2 niveles, existen construcciones de 2 niveles pero con una esbeltez grande que las hace equivalentes a casas de 3 o 4 niveles.

La Norma Técnica de Edificación E.080 sufre una modificación en abril del año 2017, reemplazando así a la vigente desde el año 2006. La NTE E.080 cambia del nombre Adobe a Diseño y construcción con tierra reforzada.

Se refiere ahora a la construcción de edificaciones de tierra reforzada de acuerdo a la filosofía de diseño sismorresistente enfocándolas en las características mecánicas de los materiales para su construcción, los elementos estructurales fundamentales así como al comportamiento sísmico de los muros de adobe y tapial.

La norma se orienta al diseño, construcción, reparación y reforzamiento de edificaciones de tierra reforzada, inspirada en el desarrollo de una cultura de prevención de desastres y en la búsqueda de soluciones económicas, seguras, durables, confortables y de fácil difusión. Las estructuras existentes incluyen las obras patrimoniales de tierra.

Esta modificación de norma no elimina contenidos determinantes de la que reemplaza, más bien, complementa con mucho más información y amplía su campo de aplicación a todas las construcciones hechas a base de tierra en nuestro país.

En la sierra y la selva la construcción con adobe es bastante común y es donde se ubica el mayor porcentaje de casas a base de este material. El clima es un factor que influye en este tipo de construcción ya que el adobe tiene una gran capacidad térmica. El factor económico es otro influyente porque los pobladores autoconstruyen sus casas puesto que la técnica es pasada de generación en generación y la mayoría de la población sabe trabajar conformando su propio adobe sin la necesidad de buscar gente especializada en otro tipo de construcciones y trayendo material de otros lugares. La tradición es otro factor importante de este tipo de construcción; las casas hechas a base de adobe y con techo a dos aguas es una tradición en la zona de la sierra y selva del Perú.

En las 3 regiones que tiene el Perú se presentan lluvias en distintas épocas del año. La sierra y la selva sufren de fuertes lluvias durante períodos que oscilan entre los 3 a 4 meses por año. En la costa, principalmente en el norte, hay lluvias que en cortos períodos inundan las ciudades, ya que no cuentan con un sistema de drenajes pluviales; esto hace que las aguas se empocen y generen humedad en las construcciones.

La región donde se encuentra el Perú también sufre las consecuencias de la presencia del fenómeno El Niño, que ocurre cada 3 a 5 años alrededor del mes de noviembre donde su fase cálida suele durar aproximadamente entre 8 a 10 meses. Este fenómeno ocasiona la presencia de grandes lluvias que afectan las distintas regiones del país.

Es muy común en esa época ver derrumbes de casas hechas con adobes puesto que no resisten a la presencia del agua, por caída de lluvia directamente o empozamiento del agua por consecuencia del desborde de ríos o lluvia.

El fenómeno último llamado fenómeno El Niño Costero ocurrido a inicios del 2017, afectó gran cantidad de viviendas dejando miles de damnificados por la crecida y desborde de los

ríos a causa de las lluvias en distintas zonas costeras, dañando principalmente departamentos del norte del país como Tumbes, Piura, Lambayeque y La Libertad.

Los tamaños de los adobes en nuestro país, si tomamos en cuenta los existentes desde la antigüedad como los hallados en las Huacas de la Luna ubicadas en la provincia de Trujillo, son de tamaño estándar promedio de 30 x 19 x 13 cm y los adobes grandes con tamaño promedio de 37 x 23 x 15 cm, largo, ancho y alto respectivamente.

La Norma Técnica de Edificación E.080_2006 nos indica que los adobes podrán ser de planta cuadrada o rectangular. Sus dimensiones deberán ajustarse a las siguientes proporciones:

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

Es necesario mencionar las recomendaciones para el dimensionamiento establecidas por la Universidad Nacional de Ingeniería del Perú (UNI) publicada en Lima, en marzo de 1993. En dicha publicación se expresa que la longitud no debe ser mayor que el doble de su ancho más el espesor de una junta. Tanto la longitud como el ancho tendrán una dimensión máxima de 40 cm.

Actualmente en la costa las dimensiones de un adobe se asemejan a las de un ladrillo, tienen medidas de 8.3 cm de altura, 12.5 cm de ancho y 21.3 cm de largo. En la sierra del Perú existen medidas típicas de 20 cm de ancho, 40 cm de largo y 10 cm de alto. Las unidades de tapial tienen dimensiones de ancho mínimo de 40 cm, altura máxima de 60 cm y longitud máxima de 150 cm.

En la localidad de Trujillo la calidad de los adobes es muy baja, por ende la albañilería de la misma también. Frente a desastres naturales no ofrecen la suficiente resistencia y su estructura termina fallando de manera frágil; esto debido a su deficiente fabricación y al mal uso de las técnicas de construcción.

Lamentablemente, y debido principalmente a razones económicas, poco a poco se ha ido perdiendo la tradición de construir edificaciones de tierra y las nuevas viviendas de tierra son paulatinamente menos sismorresistente, tienen muros más esbeltos e imitan configuraciones arquitectónicas de las viviendas de albañilería confinada (Blondet, Vargas, Tarque e Iwaki, 2011, p. 42).

1.2. Formulación del problema

¿Cómo influye el porcentaje de estabilizante de cemento y tipos de suelos sobre la resistencia y durabilidad de un adobe constructivo?

1.3. Justificación

Hacer uso de construcciones con tierra en estos tiempos puede resultar algo desactualizado y ser considerado una técnica constructiva antigua que ya no debería estar en uso, puesto que existen técnicas modernas más seguras y con resistencia muy superior a esta. Por lo tanto, no sería muy conveniente hacer líneas de investigación en mejorar sus propiedades; sin embargo, existen distintos factores que hacen que esta técnica no quede en la historia sino más bien se siga empleando y si es posible ir actualizando mejoras en su diseño constructivo, manteniendo como base la tierra como componente predominante en su estructura.

El aspecto ecológico viene a ser el factor principal del empleo de la tierra en la construcción. La sostenibilidad del medio ambiente es favorecida al emplear la construcción con tierra; esto se ve reflejado al conformar adobes ya que no se necesita energía de combustibles para su extracción, implementación o destrucción.

De la misma manera, el aspecto económico es otro factor importante, porque es un material que está hecho a base de arena, limos, arcilla y agua que se encuentran al alcance de la población en general. El producto resulta siendo más económico que otros materiales al no tener un proceso de fabricación industrial que implique mayores gastos de producción; al igual la técnica constructiva no es complicada y el rendimiento es mayor.

El aspecto social también tiene un papel muy importante en el empleo de esta técnica dado que las construcciones con adobes son sistemas constructivos tradicionales en los pueblos siendo parte de su historia; su diseño caracteriza a las regiones haciéndolos parte de su cultura que los identifica.

El uso tradicional de la tierra en la construcción es como adobe o suelo apisonado. La inercia térmica del adobe hace que en climas poco extremos sea innecesaria una instalación de calefacción o refrigeración, originando una de las claves para usarse en la construcción de sociedades de escasos recursos.

En esta investigación se va a analizar las características del adobe como material de construcción ante esfuerzos de resistencia a la compresión por unidad y también su grado de respuesta de durabilidad. El adobe se elaborará con una variación en el porcentaje del tipo de suelo arena – limos y arcilla en su diseño y con el uso de cemento como estabilizante en distintas proporciones para comprobar su idoneidad y posibles mejoras.

La técnica constructiva con adobe cuenta con limitaciones como su poca resistencia mecánica; vulnerabilidad a los agentes atmosféricos, como el desgaste de su corteza causado por la acción de agentes externos; y dimensiones de ambientes más cortas por el uso de muros de gran espesor que son necesarios en su diseño.

En la realidad su resistencia mecánica no le confiere las características suficientes para viviendas de una o dos plantas, como indica la Norma Técnica de Edificación E.080_2006. Se decide analizar la respuesta del adobe como unidad porque uno de los criterios para que la resistencia a la compresión del muro de albañilería aumente es el uso de una unidad de albañilería de alta resistencia a la compresión y también porque viene a ser un índice de su calidad. Por este motivo el incrementar su resistencia a compresión mayor a 12 kg/cm², según modificación de la norma el 2017 ahora mayor a 10 kg/cm², permitirá asegurar mejor respuesta de la estructura.

Para mejorar estas características se necesita agregar un agente estabilizador, como el cemento, logrando así aumentar su resistencia mecánica a compresión y mejorar su durabilidad frente a la humedad. También se considera al cemento dentro de los estabilizantes más económicos, de fácil acceso y de manejo sencillo para la dosificación.

Rodríguez (2003), dice que estabilizar el suelo es modificar las propiedades de un sistema tierra-agua-aire para que se obtengan propiedades que le hagan compatible con su aplicación. En la estabilización intervienen numerosos parámetros, por lo que es necesario tener un conocimiento de factores tales como las propiedades del suelo que se quiere estabilizar, las propiedades finales que se requieren, la economía del proyecto, las técnicas para utilizar el suelo seleccionado en el proyecto y el costo de conservación.

El variar porcentajes de arena y arcilla en la tesis, es necesario por dos puntos importantes: el comportamiento de su resistencia mecánica a compresión y porque el tipo de suelo no es el mismo en 2 lugares distintos.

Para obtener mejoras de sus características mecánicas, se puede aumentar o disminuir el porcentaje de arena del adobe según el tipo de suelo que se esté empleando para la fabricación. La variación de su granulometría se hace teniendo como referencia la gradación dada en la Norma Técnica de Edificación E.080_2006.

En la construcción con adobes existen diferentes tamaños, en este caso se considera como criterio principal el emplear dimensiones promedio a las que existen en la realidad de la zona de investigación de la tesis, en este caso Trujillo, tratando de verificar si cumplen con las dimensiones establecidas por la NTE E.080_2006.

El conformado del adobe se hace de forma manual con el fin de comparar la resistencia con la que se trabaja en la región y verificarla con la resistencia a la compresión dada por la NTE E.080 del 2006 y del 2017 con los resultados obtenidos de los distintos tipos de suelos a usar al 0% de estabilizante de cemento. De la misma forma, estos serán analizados con los adobes estabilizados haciendo comparación en el aumento del porcentaje de estos sin variar su modo de elaboración.

No obstante queda mucho camino en la investigación de la tierra como material de construcción en dos aspectos principales: ante las inclemencias del agua y ante los terremotos. Hay que recordar que casi toda la concentración de construcciones de tierra en el mundo está en zonas climáticas tropicales y en zonas dependientes de los movimientos de las placas tectónicas.

1.4. Limitaciones

El espacio necesario para poder realizar los adobes y dejarlos secar sin que sean movidos ni dañados por la intemperie.

1.5. Objetivos

1.5.1. Objetivo General

- Evaluar el porcentaje de estabilizante de cemento y tipos de suelos sobre la resistencia a compresión y durabilidad de un adobe constructivo.

1.5.2. Objetivos Específicos

- Determinar la máxima resistencia a compresión en condiciones de equilibrio y en estado saturado de un adobe por conformado manual con variaciones de cemento y tipo de suelo.
- Realizar un estudio del comportamiento físico – mecánico del adobe artesanal en la zona de Trujillo.

- Evaluar la estabilidad del adobe en condiciones de saturación en agua de manera estática.
- Determinar el tiempo de secado de cada adobe elaborado con distintos porcentajes de cemento como estabilizante y tipos de suelo.
- Comparar los diferentes diseños de mezcla para planear el más rentable.

CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes

La publicación de Arboccó en el Perú (2012), acerca de Experiencias sobre la utilización de materiales locales en la Construcción de Sistemas Constructivos No Convencionales (SCNC).

Buscando mejorar las construcciones con tierra, el suscrito elaboró bloques de Concretierra, empleando tierra impermeabilizada con aceite quemado de desecho, y estabilizada con un porcentaje de cemento menor al que emplearía el suelo cemento, para obtener mayor resistencia mecánica que este, lo que permitirá construir bloques de menores dimensiones mejorando así mismo su comportamiento sísmico.

En esta publicación nos muestran datos de resultados de compresión y de absorción en el transcurso del tiempo (ver tabla 2.1). La muestra sin adición tiene una resistencia de 14.7 kg/cm² sin duración en el agua por más de 10 min, el adobe con suelo-cemento presente 17.7 kg/cm² de resistencia con una absorción de 14% a 24 horas de inmersión, el concretierra resiste 24 kg/cm² y tiene una absorción de 4.6% a 24 horas bajo agua. Estos datos son referenciales para la comparación y el análisis de los resultados a investigar en la tesis.

Tabla 2.1: Compresión y porcentajes de absorción en el transcurso del tiempo

Muestra	Resistencia a compresión (kg/cm ²)		Tiempo de inmersión en agua				
	A 7 días	A 28 días	5 min.	10 min.	30 min.	1 hora	24 horas
Adobe	9,5	14,7	30,2	destruida	-	-	-
Suelo - cemento	9,9	17,7	5,9	11,7	12,8	13,5	14,2
Concretierra II	23,0	24,0	1,0	2,2	2,8	3,1	4,6

Fuente: Arboccó (2012)

Elaboración: Propia

El trabajo de Morales, Ortiz y Alavéz en Oaxaca, México (2007), sobre Mejoramiento de las propiedades mecánicas del adobe compactado (prensado) con cemento.

Se fabricaron adobes con porcentajes de cemento que fueron del 0%, 2% al 16% en peso. Se almacenaron durante 28 días bajo cubierta, protegidas de los rayos del sol y del viento.

Se obtuvo un material clasificado como una arena arcillosa con un límite líquido de 23 %, límite plástico de 16 %, índice plástico de 8 %, contracción lineal de 4.7 %; granulometría con un módulo de finura de 1.31 y 31% de material pasa la malla número 200, una densidad de 2.44 gr/cm³ y una absorción de 6.8%.

La resistencia a la compresión de los adobes compactados, se incrementó con 4% al 8% de cemento en la mezcla, respecto a los adobes control; a partir del 8% y al 16% se observan incrementos moderados (figura 2.1).

Respecto a las pruebas de absorción en agua durante 24 horas, presentó una ligera disminución conforme se incrementó la presencia de cemento en la mezcla (figura 2.2).

Por su condición de ser adobes compactados, presentan resultados más altos en relación a la tesis.

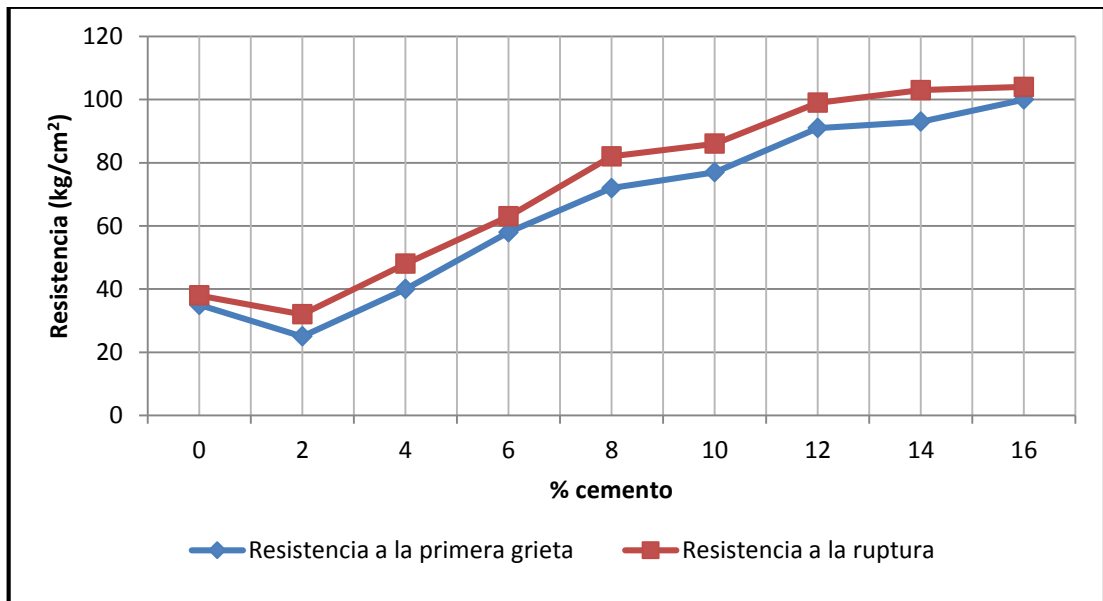


Figura 2.1: Resistencia a la compresión de los adobes compactados

Fuente: Morales, Ortiz y Alavéz (2007)
Elaboración: Propia

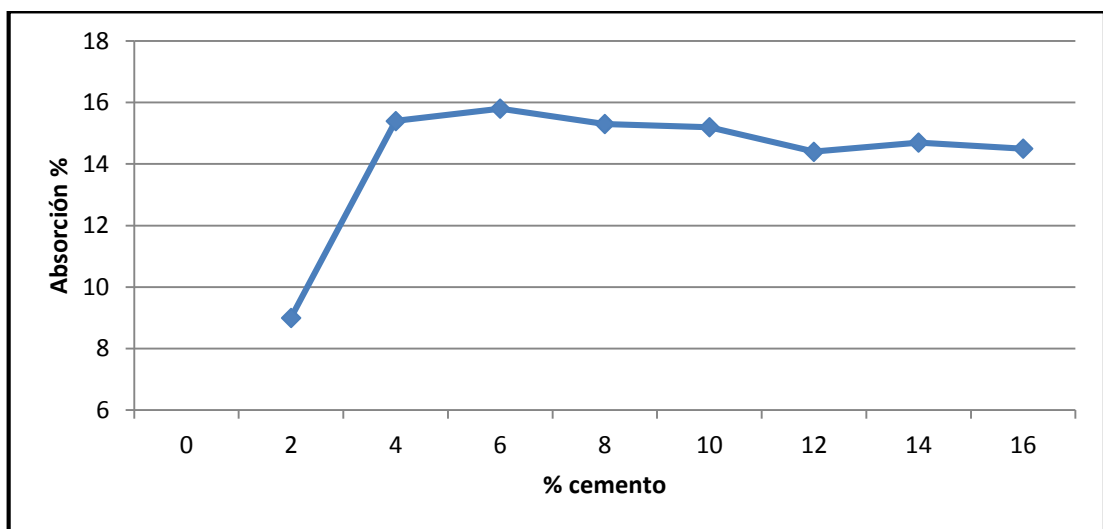


Figura 2.2: Prueba de absorción de los adobes compactados

Fuente: Morales, Ortiz y Alavéz (2007)
Elaboración: Propia

El trabajo de Saroza, Rodríguez, Menéndez y Barroso en Cuba (2008), acerca del Estudio de la resistencia a compresión simple del adobe elaborado con suelos procedentes de Crescencio Valdés, Villa Clara, Cuba.

El estudio valora la idoneidad de la utilización de cada suelo estudiado bajo la premisa de alcanzar una resistencia a compresión simple de 1 MPa (10 kg/cm²), ya que dicho adobe será utilizado posteriormente para edificación en dicho pueblo.

Para el trabajo presentado se seleccionaron 12 suelos del pueblo Crescencio Valdés, tomados en diferentes lugares del mismo. Estos suelos se identificaron como S1, S2,..., S12. La muestra representativa de dichos suelos se llevó posteriormente al laboratorio de mecánica de suelos y a partir de eso se obtuvieron los resultados mostrados (ver tabla 2.2).

Ellos nos indican que no existe consenso a la hora de recomendar los porcentajes de arena y arcilla que debe presentar el adobe para construcción. No obstante sí parece haber consenso en que el porcentaje de arcilla existente en el suelo debe ser siempre superior al 15% para que la mezcla del adobe tenga suficiente cohesión.

Los suelos S1 a S6 han ofrecido resistencias a compresión simple superiores a 1 MPa (10 kgf/cm²), con contenido de arena superior al 50%. Además en todos los casos se trata de suelos arena arcillosa "SC" según el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos.

En su estudio de los suelos S7 a S12 nos indican que no son aptos para la elaboración de adobes. Estos tienen como característica común que ninguno alcanza el porcentaje de arena del 50 %. No es aconsejable utilizar estos suelos para la elaboración de adobe para construcción debido a que o no alcanzan las resistencias adecuadas, o se fisuran en exceso. El motivo de la excesiva fisuración de los suelos S7 a S10 se debe al escaso contenido de arena presente en la mezcla.

Tomando como base los suelos S7 a S12 se elaboraron nuevas mezclas de suelo, S7i a S12i, mediante la adición de arena, con la característica común de que todas tengan contenido de arena al 50%. Para estas nuevas mezclas se ha superado en todos los casos la resistencia a compresión simple de 1 MPa (10 kgf/cm²), salvo para el suelo S7i, en el que sólo se ha superado dicho valor para una relación volumétrica suelo/fibra orgánica de 4.

Concluyen con que se ha puesto de manifiesto que, aun cuando los suelos inicialmente no puedan ser utilizados para la elaboración de adobe, se puede mejorar su comportamiento mecánico mediante la adición de arena, alcanzando al menos un porcentaje del 50% de la misma, y siempre que el contenido de arcilla sea el adecuado.

Tabla 2.2: Resultados de ensayos físicos al suelo

	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10	S11	S12
% de grava	2	9	0	0	5	0	7	0	0	37	11	4
% de arena	61	56	61	68	55	57	11	36	29	32	43	45
% de limo	8	12	16	16	18	26	40	22	35	10	26	36
% de arcilla	29	23	23	16	22	17	42	52	36	21	20	15
Límite líquido, %	35.20	36.80	38.50	31.80	48.20	30.40	34.10	35.40	43.70	40.20	31.80	38.20
Límite plástico, %	19.20	18.50	19.60	17.70	23.80	16.60	28.80	24.10	25.70	28.00	17.20	23.10
Índice de plasticidad, %	16.00	18.30	18.90	14.10	24.40	13.80	5.30	11.30	18.00	12.20	14.60	15.10
Humedad, %	8	5	7	5	7	3	4	4	6	3	4	5
Porosidad, %	30	34	32	31	41	35	29	38	36	37	28	30
Peso específico fase sólida (kN/m ³)	26.40	26.40	26.30	26.80	27.20	26.60	26.70	27.00	27.10	27.60	26.90	26.90
Índice de huecos, %	43	52	47	45	69	54	41	61	56	59	39	43
Peso específico seco (kN/m ³)	18.48	17.42	17.88	18.49	16.05	17.29	18.96	16.74	17.34	17.39	19.37	18.83
Grado de saturación, %	49	26	39	30	27	15	26	18	29	14	28	31
Peso específico aparente (kN/m ³)	19.96	18.30	19.14	19.42	17.17	17.81	19.72	17.41	18.38	17.91	20.14	19.77
S.U.C.S	SC	SC	SC	SC	SC	SC	SM	CL	SC	SM	SC	SC

Fuente: Saroza, Rodríguez, Menéndez & Barroso (2008)

Elaboración: Propia

El trabajo de Aguirre y Aguilar realizado en la ciudad de Trujillo - Perú (2006), sobre la Influencia del tipo y porcentaje de estabilizante, sobre la resistencia a la compresión y densidad en ladrillos ecológicos de construcción.

Los estabilizantes usados fueron cemento, cal y asfalto con una dosificación de 4, 7, 10 y 13% en peso. El suelo presenta: límite líquido: 31; límite plástico: 21 e índice de plasticidad: 10. Se obtuvieron especímenes de 29 x 15 x 8 cm por prensado, que a partir de una mezcla

arcilla - agua y 13% de cemento como estabilizante, se incrementó la resistencia a compresión a 28.9 kg/cm² con respecto al 4% de cemento que fue de 23.63 kg/cm², como se observa en el gráfico de la figura 2.3.

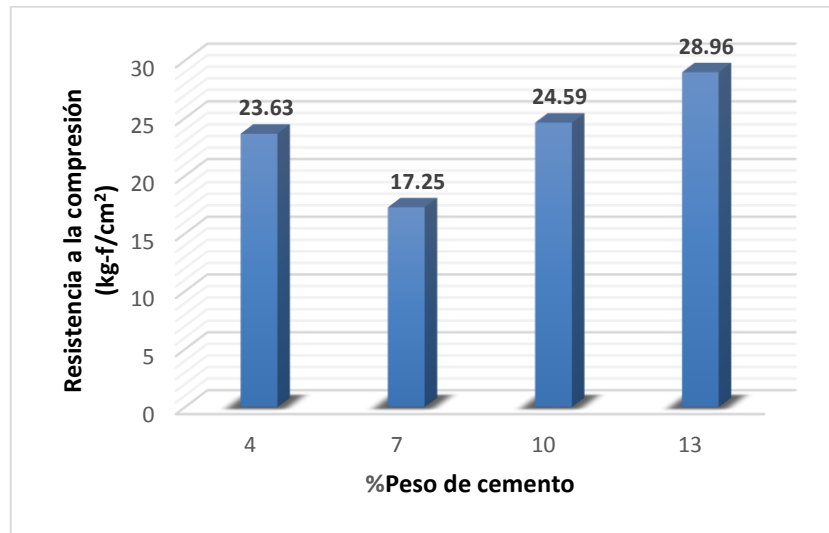


Figura 2.3: Resistencia a la compresión en adobes con cemento

Fuente: Aguirre y Aguilar (2006)

La Norma Técnica de Edificación E.080_2006 ubicada en el Reglamento Nacional de Edificaciones, detalla en el artículo 4 unidad o bloque de adobe que la gradación del suelo debe aproximarse a los siguientes porcentajes: arcilla 10-20%, limo 15-25% y arena 55-70%, no debiéndose utilizar suelos orgánicos. Estos rangos pueden variar cuando se fabriquen adobes estabilizados. El adobe debe ser macizo y sólo se permite que tenga perforaciones perpendiculares a su cara de asiento, cara mayor, que no representen más de 12% del área bruta de esta cara.

Los adobes podrán ser de planta cuadrada o rectangular. Sus dimensiones deberán ajustarse a las siguientes proporciones:

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

En el artículo 8.1, resistencia a la compresión de la unidad, nos indican que la resistencia mínima aceptable debe ser de 12 kg/cm².

2.2. Bases Teóricas

2.2.1. Suelos

Derivada del latín “solum”, que significa suelo, tierra o parcela.

Los suelos se forman por la combinación de cinco factores interactivos: material parental, clima, topografía, organismos vivos y tiempo.

Según Aguilar (1988), los suelos constan de cuatro grandes componentes volumétricos: 45% materia mineral, 5% materia orgánica, 25% agua y 25% aire. Las cuatro clases más importantes de partículas inorgánicas son: grava, arena, limo y arcilla.

La materia orgánica del suelo representa la acumulación de las plantas destruidas y resintetizadas parcialmente y de los residuos animales. La materia orgánica del suelo se divide en dos grandes grupos:

- Los tejidos originales y descompuestos.
- El humus, que es descomposición de la materia orgánica.

El aire del suelo no es continuo y está localizado en los poros separados por los sólidos. Generalmente tiene una humedad más alta que la de la atmósfera.

2.2.1.1. Propiedades físicas

- **Color**

Esta propiedad permite deducir rasgos importantes en el suelo: un color oscuro o negro indica contenido alto en materia orgánica, color blancuzco presencia de carbonatos y/o yesos, colores grises/verdes/azulados hidromorfía permanente.

- **Textura**

Se define a la textura del suelo como la relación existente entre los porcentajes de las diferentes fracciones (arena, limo y arcilla).

El suelo está constituido por partículas de diferente tamaño; conocer la granulometría es esencial para cualquier estudio del suelo. En la tabla 2.3 se observa las clases texturales del suelo a partir de su granulometría.

Tabla 2.3: Clases texturales del suelo

Textura	Arena (%)	Limo (%)	Arcilla (%)	Clase textural	
Textura gruesa	86 - 100	0 - 14	0 - 10	Arenoso	Suelos arenosos
	70 - 86	0 - 30	0 - 15	Arenoso franco	
Textura moderadamente gruesa	50 - 70	0 - 50	0 - 20	Franco arenoso	Suelos francos
Textura media	23 - 52	28 - 50	7 - 27	Franco arenoso	
	20 - 50	74 - 88	0 - 27	Franco limoso	
	0 - 20	88 - 100	0 - 12	Limoso	
Textura moderadamente fina	20 - 45	15 - 52	27 - 40	Franco arcilloso	
	45 - 80	0 - 28	20 - 35	Franco arenoso arcilloso	
	0 - 20	40 - 73	27 - 40	Franco limoso arcilloso	
Textura fina	45 - 65	0 - 20	35 - 55	Arcilloso arenoso	Suelos arcillosos
	0 - 20	40 - 60	40 - 60	Arcilloso limoso	
	0 - 45	0 - 40	40 - 100	Arcilloso	

Fuente: Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación FAO (2009)

Textura Arenosa. Es un suelo con las características del suelo arenoso.

Textura Franco-Arenosa. Es un suelo que presenta bastante arena pero que cuenta también con limo y arcilla, lo cual le otorga algo más de coherencia entre partículas.

Textura Franca. Es un suelo que tiene una mezcla relativamente uniforme, en términos cuantitativos, de los tres separados textuales. Es blando o friable, que se desmenuza fácilmente, además de bastante suave y ligeramente plástico.

Textura Franco-Arcillosa. Es un suelo que presenta bastante arcilla pero que cuenta también con limo y arena. Presenta mayor cohesión.

Textura Arcillosa. Constituye un suelo de textura fina que usualmente forma terrones duros quebradizos en estado seco y es muy plástico y pegajoso al mojarse.

En la tabla 2.4 se presentan las principales características que tienen las diferentes texturas de suelos en relación a las propiedades más importantes

Tabla 2.4: Propiedades del suelo según textura

Propiedad	Suelo arenoso	Suelo arcilloso	Suelo franco
Permeabilidad	Alta	Nula	Media
Retención agua	Poca	Mucha	Media
Aireación	Buena	Mala	Buena
Nutrientes	Pocos	Muchos	Medio - alto
Tamaño partículas	Medio	Muy finas	Finas

Fuente: www.aprenderdevino.es

La relación entre la textura y la permeabilidad, que se manifiesta en la acreditación de al menos tres grandes grupos (arcillosos, francos y arena), se muestra a mejor detalle en la tabla 2.5

Tabla 2.5: Relación textura del suelo con la permeabilidad

Textura del suelo	Permeabilidad
Franco arcilloso y arcilloso	Bajo
Franco limoso	Bajo a moderadamente bajo
Franco arenoso	Moderado a moderadamente rápido
Arena gruesa	Moderadamente rápida a rápida

Fuente: Vásquez (2000)

Se utilizan numerosos tipos de diagramas (circulares, de barras) para hallar el tipo de suelo según su textura, pero el más empleado es el triángulo de texturas o Diagrama textural (ver figura 2.4).

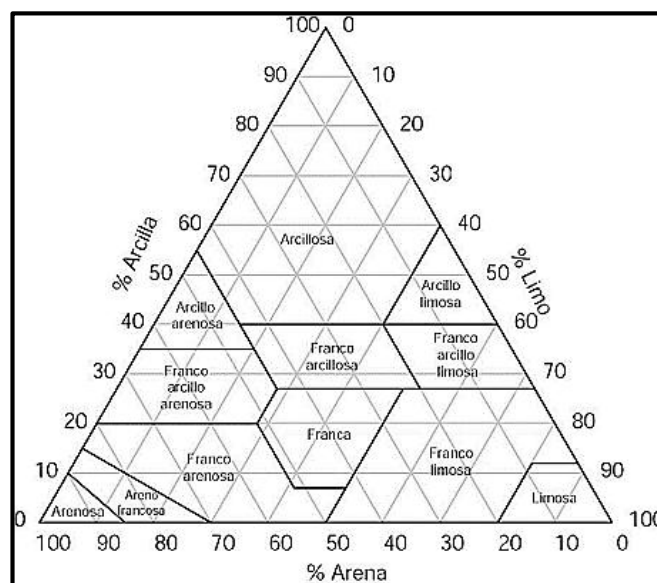


Figura 2.4: Triángulo de texturas

Fuente: departamento de agricultura de los EEUU (USDA)

La determinación del contenido de las arenas se hace mediante tamices de diferentes tamaños. La del limo y arcilla mediante el método de la pipeta de Robinson que se basa en la velocidad de sedimentación de estas partículas según la ley de Stokes.

- **Estructura**

Se puede definir como “el modo de agregación o unión de los constituyentes del suelo (partículas minerales, materia orgánica, etc.)”.

Entre los factores que influyen o determinan la morfología de la estructura están:

- a) La cantidad o porcentaje del material o matriz que une las partículas del suelo (carbonatos, arcilla, materia orgánica).
- b) La textura.
- c) La actividad biológica del suelo (lombrices).
- d) La influencia humana (en el horizonte cultivado se forma una estructura con una morfología totalmente distinta a la natural que poseía el suelo).

Las partículas irregulares de aristas y vértices agudos, dan lugar a una estructura en bloques en forma de nuez.

Si las partículas son más o menos esféricas, la estructura es granular.

Algunos suelos tienen la estructura prismática o en columnas, formada por prismas o columnas verticales de tamaño comprendido entre 0.5 y 10 centímetros.

La estructura laminar consiste en trozos planos en posición horizontal.

- **Porosidad y permeabilidad**

Al agruparse los granos o partículas del suelo para formar terrones, quedan entre ellos espacios de tamaño variable denominados poros, que son ocupados por el agua y el aire.

La permeabilidad se refiere a la velocidad con la que el agua y el aire circulan o se mueven a través de los poros del suelo.

Los suelos arenosos son de permeabilidad alta y los arcillosos de baja permeabilidad.

En los suelos francos la permeabilidad es moderada.

- **Contracción**

La contracción sucede cuando una muestra de suelo secada lentamente (sometida a desecación) forma un menisco capilar entre los granos individuales del suelo. Como resultado, los esfuerzos entre los granos (esfuerzos efectivos o intergranulares), aumentarán y el suelo disminuirá de volumen. Cuando la contracción va continuando, el menisco se hace más pequeño y los esfuerzos capilares se incrementan, lo cual reduce aún más el volumen hasta llegar al punto donde no hay mayor reducción de volumen, pero el grado de saturación es esencialmente 100 %. El contenido de agua al cual esto ocurre se define como límite de contracción.

El límite de contracción de un suelo se define como el contenido mínimo de agua, por debajo del cual una reducción de la cantidad de agua, no causará una disminución de volumen de la muestra de suelo, pero al cual un aumento en el contenido de agua causará un aumento en el volumen de la masa de suelo.

Las grietas de contracción pueden presentarse localmente cuando las presiones capilares exceden la cohesión o resistencia a la tensión del suelo. Estas grietas, parte de la microestructura de la arcilla, son zonas de debilidad que pueden reducir significativamente la resistencia general y afectan la estabilidad de taludes de arcilla y la capacidad de carga de fundaciones.

- **Hidroscopia**

Es la técnica que se emplea para averiguar la existencia y las condiciones de las aguas ocultas, examinando previamente la naturaleza y la configuración del terreno.

Se muestra la tabla 2.6 donde se observa la condición del suelo a través de su humedad. La medida de la humedad del suelo se encuentra en centibar (cbar). El bar es una unidad de presión equivalente a un millón de barias, aproximadamente igual a una atmósfera (1 atm). Su símbolo es «bar».

Tabla 2.6: Condición del suelo por su humedad

Humedad del suelo (cbar)	Condición del suelo
0-10	Suelo saturado. Ocurre en el primer y segundo día luego de la irrigación.
10-20	Suelo con humedad adecuada (excepto en el caso de arena gruesa, la cual no se encuentra en este rango)
30-60	Rango usual para la irrigación (excepto en suelos predominantemente arcillosos). Irrigar en el extremo superior de este rango en climas frescos y húmedos y en suelos con mayor capacidad de retención de agua.
60-100	Rango usual para la irrigación de suelos predominantemente arcillosos.
100-200	El suelo se encuentre peligrosamente seco para una producción máxima. Proceda con cuidado.

Fuente: Electrocomponentes S.A. (2017)

De acuerdo a su clase textural de los suelos, se obtienen algunas propiedades físicas e hidráulicas de ellos (ver tabla 2.7).

Tabla 2.7: Propiedades físicas e hidráulicas de los suelos

Clase textural	Profundidad	Arcilla	Limo	Arena	Humedad inicial	Densidad aparente	Conductividad hidráulica saturada
	(cm)	(%)	(%)	(%)	cm ³ /cm ³	g/cm ³	cm/h
Franco limoso	0 - 20	28	46	26	0.098	1.146	2.050
	20 - 40	24	54	22	0.105	1.154	
	40 - 60	30	52	18	0.127	1.241	
Franco arcilloso	0 - 20	26	22	52	0.066	1.139	3.283
	20 - 40	36	32	32	0.075	1.113	
	40 - 60	44	30	26	0.103	1.362	
Franco arenoso	0 - 20	11	12	77	0.030	1.468	2.803
	20 - 40	11	9	80	0.048	1.538	
	40 - 60	8	8	84	0.063	1.526	

Fuente: Cruz, F. (2015)

El suelo cuenta con 4 características hídricas y estas son las siguientes:

- **Agua estructural:** Está contenida en los minerales de suelo (hidrómica, óxidos hidratados, etc.) solamente son liberados en procesos edáficos.

- **Agua higroscópica:** es agua inmóvil, es removida solamente por calentamiento o sequía prolongada (figura 2.5).
- **Agua capilar:** Es agua retenida en los microporos por fuerza de capilaridad, el agua de los capilares mayores puede percolar pero no puede drenar fuera del perfil (figura 2.5).
- **Agua gravitacional:** Es agua retenida en los macro poros y puede drenar fuera del perfil.

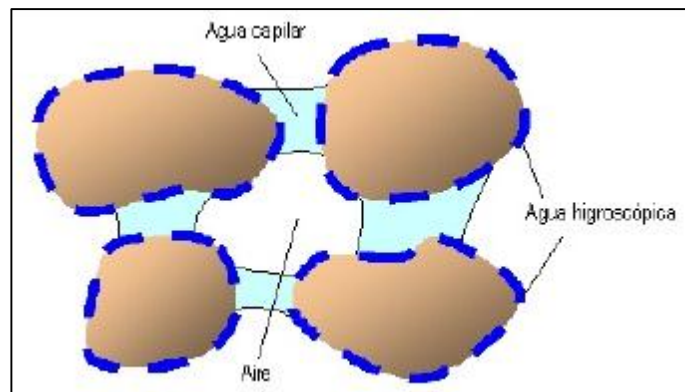


Figura 2.5: Agua capilar y agua higroscópica

Fuente: Slideshare/ Molina, J. (2011)

- **Cohesión**

ARQHYS (2012) nos da a conocer que la cohesión es la máxima resistencia del suelo a la tensión. Resulta de la compleja interacción de muchos factores como la adherencia coloidal de la superficie de las partículas, la tensión capilar de las películas de agua, la atracción electrostática de las superficies cargadas, las condiciones de drenaje y el historial de esfuerzos.

Es la atracción entre partículas, originada por las fuerzas moleculares y las películas de agua. La cohesión de un suelo varía si cambia su contenido de humedad. La cohesión se mide kg/cm^2 . Los suelos arcillosos tienen cohesión alta de $0,25 \text{ kg/cm}^2$ a 1.5 kg/cm^2 , o más. Los suelos limosos tienen muy poca, y en las arenas la cohesión es prácticamente nula.

Solo existe una verdadera cohesión en el caso de las arcillas que tienen contacto de canto con cara entre sus partículas. Los suelos no plásticos de grano fino pueden exhibir una cohesión aparente cuando están en condiciones de saturación parcial.

- **Plasticidad**

Es la propiedad que presentan algunos suelos de modificar su consistencia (su resistencia al corte) en función de la humedad.

Existe una correspondencia entre la plasticidad de un suelo y su cohesión. La plasticidad es una propiedad exclusiva de los suelos finos (arcillas y limos), siendo producto de las relaciones electroquímicas que se establecen entre las superficies de los elementos que forman el agregado que compone el suelo (partículas elementales de limo o arcilla). Los suelos granulares, formados exclusivamente por elementos de granulometría gruesa (arena, gravilla, grava o cantos) no presentan plasticidad.

Límites de Atterberg

Albert Mauritz Atterberg definió cuatro estados en los que puede encontrarse un suelo plástico en función de su consistencia (figura 2.6) que varía según la humedad: sólido, semisólido, plástico y líquido. Un suelo plástico seco se encuentra en estado sólido; al incrementar su humedad varía de forma gradual su consistencia hasta llegar al estado líquido. Los umbrales de humedad que separan cada uno de los estados son denominados límites de Atterberg.

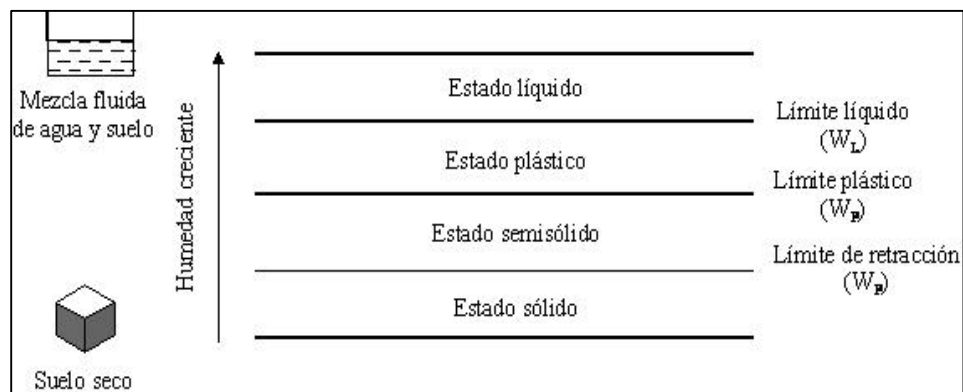


Figura 2.6: Límites de Atterberg

Fuente: GEOSUPORT (2014)

Conceptualmente el límite líquido (w_L) corresponde a la humedad por encima de la cual la resistencia al corte de un suelo es nula (propia de un líquido).

El límite plástico (wP) corresponde al umbral de humedad de un suelo por encima del cual el material muestra una deformación de tipo plástica en relación a las tensiones aplicadas.

- **Peso unitario**

El peso unitario es definido como la masa de una masa por unidad de volumen. El peso unitario del suelo varía de acuerdo al contenido de agua que tenga el suelo, que son: húmedo (no saturado), saturado y seco.

El peso unitario húmedo, es definido como el peso de la masa de suelo en estado no saturado por unidad de volumen, donde los vacíos del suelo contienen tanto agua como aire, su fórmula es la siguiente:

$$\gamma = \frac{W}{V}$$

El peso unitario seco, se define como el peso de suelo sin contenido de agua por unidad de volumen, su fórmula es la siguiente:

$$\gamma_d = \frac{W_s}{V}$$

El peso unitario saturado, se define como el peso de suelo en estado saturado por unidad de volumen, donde los espacios vacíos están llenos de agua, la fórmula es:

$$\gamma_{sat} = \frac{W}{V}$$

El Peso unitario del agua, es peso del agua por unidad de volumen que será:

$$\gamma_w = \frac{W_w}{V_w}$$

- **Densidad aparente**

Es la relación de la masa de suelo seco por unidad de volumen del suelo, generalmente secada a una temperatura de 110°C. Incluye el volumen de partículas sólidas y espacio poroso. Se expresa generalmente en g/cm³.

La densidad aparente del suelo está en relación a la porosidad, textura, materia orgánica y grado de compactación. Mientras más fino y más poroso sea un suelo, mayor será su densidad aparente, y mientras más grueso y menos poroso sea menor será dicho valor.

La cantidad de materia orgánica contribuye a tener menos densidad aparente en el suelo, así como la profundidad, donde hay mayor grado de compactación y menos materia orgánica, tendré un suelo con mayor densidad aparente.

En la tabla 2.8 se muestran los tipos de suelo de acuerdo a sus densidades aparentes.

Tabla 2.8: Tipo de suelo según sus densidades aparentes

Tipo de suelo	DA (g/cm ³)
Suelos orgánicos	0.1 - 0.6
Suelos superficiales, texturas finas	1.0 - 1.3
Suelos superficiales, texturas gruesas	1.0 - 1.8
Suelos compactados	1.0 - 2.0
Suelos franco arcillosos	1.0 - 1.4
Suelos franco limosos	1.1 - 1.4
Suelos franco arenosos	1.2 - 1.8
Suelos volcánicos	0.3 - 0.85

Fuente: Food and Agriculture Organization **FAO** (1998)

2.2.1.2. Propiedades químicas

- **pH**

El pH es una medida de la concentración de hidrógeno expresado en términos logarítmicos. Los valores del pH se reducen a medida que la concentración de los iones de hidrógeno incrementan, variando entre un rango de 0 a 14. Los valores por debajo 6.5 son ácidos, valores superiores a 6.5 son alcalinos y/o básicos, mientras que los que rondan 7.0 son denominados neutrales.

Los pH altos en el suelo son indicadores de la presencia de sales solubles. En la mayoría de suelos el valor de pH está comprendido entre 4.5 y 10.

Podemos clasificar los suelos según su grado de acidez en los siguientes tipos:

- Extremadamente ácido pH < 4.5
- Fuertemente ácido: 4.5 < pH < 5.5
- Medianamente ácido: 5.6 < pH < 6.0

- Ligeramente ácido: $6.1 < \text{pH} < 6.5$
- Neutro: $6.6 > \text{pH} < 7.3$
- Medianamente básico $7.4 < \text{pH} < 7.8$
- Básico: $7.9 > \text{pH} > 8.4$
- Ligeramente alcalino: $8.5 < \text{pH} < 9.0$
- Alcalino: $9.1 < \text{pH} < 10.0$
- Fuertemente alcalino: $\text{pH} > 10.0$

- **Salinidad**

La salinización de los suelos es el proceso de acumulación en el mismo, de las sales disueltas en el agua.

Un suelo es salino cuando tiene exceso de sales solubles. Se consideran sales solubles las que están compuestas por los siguientes iones:

- Cationes: calcio, magnesio, sodio, potasio
- Aniones: cloruro, sulfato, bicarbonato, carbonato.

- **Conductividad eléctrica de un suelo**

La conductividad se define como la capacidad de una sustancia de conducir la corriente eléctrica y es lo contrario de la resistencia.

Es la medida de la cantidad de corriente que pasa a través de la solución del suelo. La conductividad eléctrica de una solución es proporcional al contenido de sales disueltas e ionizadas contenidas en esa solución.

En la tabla 2.9 se clasifica el tipo de suelo según su salinidad al relacionarlo con la conductividad eléctrica.

Por tanto, el contenido salino de una solución se conoce midiendo la conductividad eléctrica de la solución, mediante la fórmula:

- $ST = 0.64.CE$, y se expresa en gramos/litro de solución (g/l)

La unidad de medición utilizada en la conductividad eléctrica comúnmente es el Siemens/cm (S/cm), con una magnitud de 10 elevado a -6, es decir microSiemens/cm ($\mu\text{S/cm}$), o en 10 elevado a -3, es decir, miliSiemens (mS/cm).

Tabla 2.9: Clasificación de los suelos según su conductividad

Tipo de suelo	Conductividad eléctrica
	(dS/m)
Suelo normal	< 2
Suelo salino	> 2
Salinidad ligera	2 - 4
Salinidad mediana	4 - 8
Salinidad fuerte	8 - 16
Salinidad extrema	> 16

Fuente: Cátedra EDAFOLOGIA UCA/ Slideshare (2009)

Edición: Propia

- **Sólidos totales suspendidos**

Es la cantidad de sólidos que el agua conserva en suspensión después de 10 minutos de asentamiento. Se mide en ppm. El Decreto 475 del Ministerio de Salud establece que para agua potable los sólidos totales deberán ser inferiores a 5000 ppm, sin especificar si son solamente los sólidos totales suspendidos o si incluyen los sólidos disueltos totales.

2.2.2. Adobe

2.2.2.1. Concepto

Según Siavichay y Narváez (2010), sostienen que al adobe se lo puede describir como un bloque macizo de tierra cruda, el cual puede contener paja u otro material (fibras naturales o artificiales) que mejore su estabilidad frente a agentes externos. Finalmente es secado al sol y al aire, el adobe se caracteriza por ser un material que se emplea sin cocción previa.

El adobe permite un intercambio de humedad entre el exterior e interior, que mantienen saludables niveles de humedad en el interior de las viviendas. Tiene mayor inercia térmica, es decir que contiene mejor el calor.

La Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica (2004) señala que el adobe es una pieza maciza de barro sin cocer. Las dimensiones de la pieza varían entre 30 y 40 centímetros de largo y corresponde a una relación usual de 1:1/2:1/4 siendo largo, ancho y alto respectivamente.

López y Bernilla (2012), mencionan que generalmente, el adobe, está conformado por una mezcla de un 20% de arcilla y un 80% de arena y agua, la cual se introduce en moldes o gaveras y luego de desmoldar se deja secar al sol por lo general unos 25 a 30 días. Para evitar que se agriete al secar se añaden a la masa paja, crin de caballo, heno seco, viruta que sirven como armadura y se cuida que se tenga un secado lento y controlado. Las dimensiones adecuadas deben ser tales que el operador o albañil puedan manipularlo adecuadamente, en general son de 40 cm por 40 cm, pero hay variaciones que pueden ser importantes dependiendo de la zona.

Cid y Cañas (2009), nos dan a conocer que la granulometría del árido de la tierra también es de 10-25% de limos, 40-70% de arena y la regla general es no incluir grava.

Bestraten, Hormías y Altemir (2010), dicen que se basa como el tapial en tierra compactada a mano en moldes. Sin embargo, la técnica no implica moldear la tierra in situ, es decir, en el lugar donde se va a levantar el muro, sino que se moldea por piezas de forma prismática. Para su moldeo se necesita una plasticidad mayor, por lo que el contenido de arcilla suele ser mayor. A su vez, dado que el secado de piezas de barro más pequeñas se desecan en mayor medida, necesitan más cantidad de agua, por lo que la retracción también es mayor, obligando la presencia de fibras en cantidad suficiente.

2.2.2.2. Adobe estabilizado

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

Según Doat, Hays, Houben, Matuk y Vitoux (1990), las recomendaciones para el adobe estabilizado en Perú son:

- La resistencia a la compresión debe estar entre 17.6 a 14 kg/cm².
- El módulo de rotura debe ser 3.5 kg/cm².
- La absorción de 2% o menos es excelente, entre 2 y 3% es bueno, entre 3 a 4% es aceptable y mayor a 4% ya es insuficiente.

2.2.2.3. Componentes

Según Etchebarne, Piñeiro y Silva (2005), está compuesta básicamente por áridos, limos y arcilla. Los áridos y los limos conforman el esqueleto resistente que soportan las cargas y evitan la fisuración. La variedad en su granulometría le confiere distintas propiedades, dependiendo de la cantidad de gruesos, finos y limos.

La tierra debe poseer una buena cohesión luego de la elaboración, es decir que el contenido de arcilla sea suficiente: superior al 10%. Por otra parte las materias orgánicas, los sulfatos, los óxidos e hidróxidos metálicos podrán tener una acción físico-química algunas veces perjudicial sobre el cemento.

2.2.2.3.1. Arena

Según Doat, Hays, Houben, Matuk y Vitoux (1990), están constituidas por granos minerales cuyo tamaño está comprendido aproximadamente entre 0.080 y 5 mms. Son componentes estables de los suelos, y cuando están secas no poseen cohesión pero presentan por el contrario una fuerte fricción interna, es decir alta resistencia mecánica de rozamiento a los desplazamientos relativos de las partículas que las componen. Ligeramente húmeda poseen una cohesión aparente debido a la tensión superficial del agua que ocupa los vacíos entre los granos.

La superficie química de la arena normal se muestra en la figura 2.7. La sustancia pura que compone la mayor parte de la arena es la sílice, o dióxido de silicio (SiO_2) generalmente en forma de cuarzo. La arena pura es SiO_2 , pero en la naturaleza el arrastre de minerales por el agua y el viento la compone de metales, óxidos y otros elementos orgánicos e inorgánicos.

Por eso suelen denominarlas arena común, arena fina, refinada y pura.

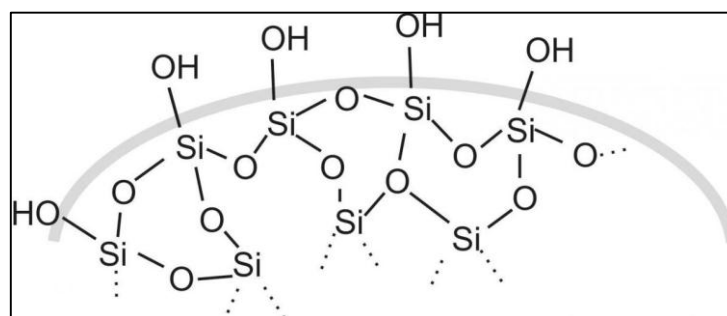


Figura 2.7: Superficie química de la arena normal

Fuente: Ingo Eilks (2016)

Algunas pruebas de los agregados para su control de calidad (normas ASTM) y que son parte de sus propiedades físicas son las siguientes:

- **Granulometría**

Es el porcentaje de partículas de tamaños determinados, que forman el material original. Es aquel que pasa íntegramente por el tamiz 3/8" y como mínimo en un 95% el tamiz N° 4, quedando retenido en el tamiz N° 200. Lo que queda retenido en el tamiz 3/8" se considera agregado grueso, y lo que pasa el tamiza N° 200 se considera como finos (limos y arcillas).

- **Módulo de finura**

Nos da una idea del grosor o finura del agregado. El módulo de finura del agregado fino, es el índice aproximado que nos describe en forma rápida y breve la proporción de finos o de gruesos que se tiene en las partículas que lo constituyen.

Es un indicador de la finura de un agregado; cuanto mayor sea el módulo de finura, más grueso es el agregado.

Se calcula sumando los porcentajes retenidos acumulados en los tamices estándar (n° 100, n° 50, n° 30, n° 16, n° 8, n° 4, 3/8", 3/4", 1 1/2", 3" y 6") y dividiendo la suma entre 100.

Si el módulo de finura de una arena es de 2.3 se trata de una arena fina. Si el modulo se encuentra entre el rango de 2.3 a 3.1 se trata de una arena mediana. Si el modulo es mayor de 3.1 se trata de una arena gruesa.

- **Humedad**

Determina la cantidad de agua que posee una muestra de arena, con respecto al peso seco de la muestra.

La estructura interna de una partícula de agregado, está constituida de materia sólida y de vacíos que pueden o no contener agua. Las condiciones de humedad de los agregados se muestran en la figura 2.8. Se designan como:

- Secado al horno. Completamente absorbentes.

- Secados al aire. Secos en la superficie de la partícula pero conteniendo cierta humedad interior, siendo por lo tanto algo absorbentes.
- Saturados y superficialmente secos (SSS). No absorben ni ceden agua a la mezcla de concreto.
- Húmedo. Contienen un exceso de humedad en la superficie (agua libre).

<i>Estado:</i>	Secado al horno	Secado al aire	Saturado, superficialmente seco	Húmedo o mojado
<i>Humedad total:</i>	Ninguna	Menor que la absorción potencial	Igual a la absorción potencial	Mayor que la absorción

Figura 2.8: Condiciones de humedad de los agregados

Fuente: Sitecal.com.bo (2017)

- **Peso específico**

Nos indica características y consistencia de un agregado. Se denomina al peso que posee una sustancia en un determinado volumen. Suele expresarse en kilogramos por metro cúbico (kg/m^3).

La arena tiene un peso específico aproximado dependiendo de su estado húmedo:

- Arena seca 1600 kg/m^3
- Arena húmeda 1800 kg/m^3
- Arena Saturada 2100 kg/m^3

- **Peso volumétrico**

El peso Volumétrico es la relación entre el peso de un material y el volumen ocupado por el mismo, expresado en kg/m^3 . Existen dos valores para esta relación, dependiendo del sistema de acomodo que se haya dado al material inmediatamente después de la prueba, la denominación que se le da a cada uno de ellos es peso volumétrico suelto y peso volumétrico compactado; el uso depende de las condiciones de manejo a la que estén sujetos los materiales. El valor

del peso volumétrico, para ambos casos, deberá obtenerse con agregados secos a la intemperie.

Peso Volumétrico Suelto: Se usa para la convención de peso a volumen, es decir, para conocer el consumo de agregado por m^3 .

Peso Volumétrico Compactado: Es para el conocimiento del volumen de materiales aplicados y que están sujetos a acomodamientos o asentamiento provocados por el tránsito o por la acción del tiempo.

El peso volumétrico aproximado de un agregado, varía desde aproximadamente $1,200 \text{ kg/m}^3$ a $1,760 \text{ kg/m}^3$. Los contenidos de vacíos varían desde aproximadamente 30% a 45% para los agregados gruesos hasta 40% a 50% para el agregado fino. La angularidad aumenta el contenido de vacíos; mayores tamaños de agregado bien graduado y una granulometría mejorada hacen disminuir el contenido de vacíos.

2.2.2.3.2. Limos

Constituidas por granos cuyo tamaño está entre 0.002 y 0.80 mm aproximadamente. No poseen cohesión cuando están secos. Presentan resistencia al rozamiento más débil que las arenas. Húmedos ofrecen buena cohesión y pueden alterar su volumen, expansión y contracción cuando esta varía.

Características:

- Dificilmente erosionados por el viento.
- Casi imposible de drenar mediante bombeo.
- En general, algo plásticos.
- Partículas invisibles.
- No suelen tener propiedades coloidales.
- A partir de 0.002 mm, y a medida que aumenta el tamaño de las partículas, se va haciendo cada vez mayor la proporción de minerales no arcillosos.
- Tacto áspero.
- Se secan con relativa rapidez y no se pegan a los dedos.
- Los terrones secos tienen una cohesión apreciable, pero se pueden reducir a polvo con los dedos.

2.2.2.3.3. Arcilla

Roca natural sedimentaria de tamaño de grano fino y que muestra plasticidad cuando es mezclado con una cierta proporción de agua. Químicamente es un silicato hidratado de alúmina, cuya fórmula es: óxido de aluminio (Al_2O_3) · dióxido de silicio (2SiO_2) · dióxido de hidrógeno ($2\text{H}_2\text{O}$). Aunque su composición química está caracterizada a parte de la presencia de sílice (Si), aluminio (Al) y óxido de hidrógeno (H_2O), con cantidades variables de magnesio (Mg), manganeso (Mn), hierro (Fe), calcio (Ca), sodio (Na) y potasio (K), principalmente.

Físicamente se considera un coloide, de partículas pequeñas cuyo diámetro es inferior a 0,002 mm y de superficie lisa. En la fracción textural arcilla puede haber partículas no minerales, los fitolitos.

Según Carcedo (2012), presentan, un valor elevado del área superficial y una gran cantidad de superficie activa, con enlaces no saturados. Por ello pueden interactuar con diversas sustancias como el agua, por lo que tienen comportamiento plástico siendo capaces en algunos casos de hincharse.

Tienen una estructura en capas o partículas laminares. Los principales son las caolinitas, las illitas y motmorillonitas. La capacidad de intercambio catiónico generalmente controla su comportamiento frente al agua y su inestabilidad.

De las motmorillonitas, la motmorillonita sódica o bentonita es muy conocida en el ámbito de la ingeniería, la cual posee la capacidad de absorber grandes cantidades de agua.

Entre más plástico el material mayor su potencial de expansión y menor su resistencia al cortante.

Doat, Hays, Houben, Matuk y Vitoux (1990) nos dice que forman la parte más fina de los suelos (menos de 2μ).

Las partículas de arcilla están envueltas por una película de agua y la pequeñez de sus granos hace que su poco peso no ofrezca resistencia a las fuerzas generadas por las tensiones superficiales desarrolladas a este nivel, las fuerzas de volumen son poco resistentes comparadas con las fuerzas de la superficie.

Algunas de sus características son:

- Plasticidad y reblandecimiento al estar húmeda.
- Sonoridad y dureza al calentarla sobre los 800 °C.

- Material barato y de uso más amplio.
- Material de estructura laminar.
- Sumamente hidrocópico.
- Su masa se expande con el agua.
- Al secarse su masa se contrae en un 10%
- Generalmente se le encuentra mezclada con materia orgánica.

Las propiedades que determinan el comportamiento de un suelo pueden determinarse a partir de ensayos estandarizados de laboratorio. La mayor parte de estos ensayos se ocupan de la evaluación de parámetros tales como el contenido de humedad, permeabilidad, porosidad, densidad, forma y tamaño de las partículas (granulometría), estructura, plasticidad, capacidad de hinchamiento.

2.2.2.3.4. Agua

Según Carcedo (2012), el agua es el agente que permite que las reacciones químicas de los estabilizantes se generen y el elemento que hace que la tierra gane plasticidad, básicamente mediante su absorción por parte de la arcilla.

La humedad óptima del bloque de tierra es la que consiga una mayor densidad del bloque. Durante el secado de la pieza a la sombra, el agua poco a poco desaparecerá dejando que las reacciones químicas se produzcan en el interior de la pieza.

2.2.2.3.5. Estabilizantes

Según Carcedo (2012), los estabilizantes mejoran las propiedades físicas del adobe, aumentando su resistencia, disminuyendo la retracción durante el secado, evitando su erosión, impidiendo el alojamiento de insectos, mejorando la resistencia a la corrosión del agua.

Existen multitud de sustancias como ejemplos de estabilizantes: cal, yeso, cemento, resinas, polímeros, hidrofugantes, impermeabilizantes, aceites, grasas, emulsiones asfálticas, ceras, sosa, orín, estiércol, yema de huevo, caseína, puzolanas, paja, pelo, crin, hierba, corteza de coco, algodón, nylon, etc. El cemento, la cal y el yeso son los estabilizantes más eficientes entre los que se pueden ser adquiridos fácilmente. Sin embargo, necesitan más energía que el resto para ser producidos, especialmente el cemento, lo que paliaría un poco las características sostenibles de la construcción con tierra.

Cid, Mazarrón y Cañas (2011), nos mencionan acerca del contenido de estabilizantes. En el caso de la norma española el contenido de estabilizantes (cemento, cal, yeso y otros) debe ser menor o igual al 15% de la masa en seco del bloque. La norma estadounidense nos dice que para superar el valor de absorción de agua para el adobe y tapial establecido; se debe contener un mínimo de 6% en peso de cemento Portland y de esa manera superar las pruebas de resistencia a compresión en húmedo.

Ningún otro documento define la tierra estabilizada.

La presencia en el suelo de materias orgánicas o de sulfatos es perjudicial para la acción de algunos cementos.

- **Cemento Portland**

Son aquellas sustancias adhesivas, naturales o artificiales, con las que se pueden formar masas plásticas, que son capaces de unir entre sí a fragmentos o masas de materiales sólidos, formando un conjunto totalmente compacto.

Según Kosmatka (2004), se da el nombre de Portland a un cemento obtenido por la mezcla de materiales calcáreos y arcillosos u otros materiales asociados con sílice, alúmina y óxido de hierro, que son calentados a temperaturas que provocan que se formen escorias, para posteriormente moler el producto resultante. Cuando la escoria se enfría, se muele hasta convertirla en un polvo fino y se le agrega un poco de yeso, este producto resultante es el cemento Portland comercial que se usa en todo el mundo.

Los componentes principales del cemento Portland lo constituyen los silicatos y los aluminatos de calcio, estos compuestos se forman por la asociación química de diferentes óxidos como el óxido de calcio (CaO), que se representa químicamente en forma abreviada por la letra C, la sílica (SiO₂) representada por S, la alúmina (Al₂O₃) por A y el óxido de hierro (Fe₂O₃) representado por F. Los compuestos principales de fusión química en el horno son cuatro:

- | | | |
|-----------------------|------------------------|------------------|
| ○ Silicato tricálcico | 3CaO. SiO ₂ | C ₃ S |
| ○ Silicato dicálcico | 2CaO. SiO ₂ | C ₂ S |

- Aluminato tricálcico $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ C_3A
- Aluminoferrito tetracálcico $4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$ C_4AF

Adicionalmente se forman compuestos secundarios como óxido de magnesio (MgO), óxido de azufre (SO_3), óxido de potasio (K_2O), óxido de sodio (Na_2O) y otros. Los dos últimos óxidos, el de potasio y el de sodio se conocen como los álcalis del cemento, normalmente estos compuestos se restringen en un 0.6% por peso en forma combinada, debido a que arriba de este porcentaje y bajo condiciones ambientales favorables, los álcalis reaccionan en forma expansiva con algunos agregados de origen volcánico, provocando la desintegración.

Algunas características físicas que presenta el cemento son el tamaño de la partícula, finura del cemento, consistencia, superficie específica, tiempo de fraguado, falso fraguado, estabilidad de volumen, resistencia mecánica, contenido de aire y calor de hidratación.

Cemento portland tipo I

Es un cemento de uso general en la construcción, que se emplea en obras que no requieren propiedades especiales. Se fabrica mediante la molienda conjunta de Clinker Tipo I y yeso, que brindan mayor resistencia inicial y menores tiempos de fraguado.

Sus aplicaciones son para obras de concreto y concreto armado en general, estructuras que requieran un rápido desencofrado, concreto en clima frío, productos prefabricados, pavimentos y cimentaciones.

En la tabla 2.10 se muestra la composición química y las propiedades físicas del cemento portland tipo I conforme a la Norma técnica peruana NTP 334.009 y American Society for Testing and Materials ASTM C150.

Tabla 2.10: Cemento Portland tipo I conforme a la NTP
334.009 / ASTM C150

PROPIEDADES FÍSICAS		CPSAA	Requisito NTP 334.009 / ASTM C150
Contenido de aire	%	8	Máximo 12
Expansión en autoclave	%	0.10	Máximo 0.80
Superficie específica	cm ² /g	3770	Mínimo 2800
Densidad	g/mL	3.12	No específica
Resistencia a compresión:			
Resistencia a compresión a 3 días	MPa (Kg/cm ²)	31.7 (323)	Mínimo 12.0 (Mínimo 122)
Resistencia a compresión a 7 días	MPa (Kg/cm ²)	38.5 (392)	Mínimo 19.0 (Mínimo 194)
Resistencia a compresión a 28 días	MPa (Kg/cm ²)	46.5 (474)	Mínimo 28.0 (Mínimo 286)

Fuente: Cementos Pacasmayo S.A.A (2016)

Elaboración: Propia

2.2.3. Resistencia a la compresión de la unidad de adobe

Se define como su capacidad para resistir esfuerzos y fuerzas aplicadas adquiriendo deformaciones sin llegar a romperse.

Ríos (2010), dice que cuando una fuerza actúa sobre un cuerpo, se presentan fuerzas resistentes en las fibras del cuerpo que se denominan fuerzas internas. Fuerza interna es la resistencia interior de un cuerpo a una fuerza externa. Así que cuando se usa el término esfuerzo, se refiere a la magnitud de la fuerza por unidad de área. De tal forma, que la resistencia de un material es la propiedad que tiene para resistir la acción de las fuerzas.

El esfuerzo de compresión es una presión que tiende a causar una reducción de volumen.

2.2.4. Durabilidad en adobes

Se considera la prueba de absorción de agua. Esta prueba es importante ya que uno de los principales problemas del adobe tradicional es su mal comportamiento ante el intemperismo y su comportamiento al ser sumergidos en agua nos indican cualitativamente su resistencia ante este fenómeno.

Según Cid (2012), la durabilidad de los materiales se puede subdividir en tres tipos: durabilidad física, química y biológica. La primera se debe a un deterioro causado a procesos físicos como agua de lluvia, abrasión, etc.; la segunda se debe a un deterioro producido por reacciones químicas, mientras que la durabilidad biológica se debe a un deterioro causado por una descomposición orgánica.

La causa predominante de pérdida de funcionalidad en paredes de tierra es debido a la pérdida de la superficie quien a su vez es debido a la erosión por agua de lluvia (ataque físico).

2.3. Hipótesis

2.3.1. Hipótesis General

- La adición de porcentaje de cemento portland tipo I en el diseño de adobes con diferente proporción de arena – limos y arcilla, incrementará la resistencia a compresión en equilibrio y saturado, mejorando su durabilidad.

2.3.2. Hipótesis Específicas

- El incremento de mayor porcentaje de cemento hará que el adobe tenga mayor resistencia en condiciones de equilibrio y en estado saturado.
- El comportamiento físico – mecánico promedio de los adobes artesanales en la zona de Trujillo, no cumplirán con la resistencia mínima permisible dada por la NTE E.080_2006.
- En condiciones de saturación en agua de manera estática, el adobe con porcentajes de cemento al 3%, 6%, 9% y 12% tendrá una mejor respuesta de durabilidad frente a un adobe normal.
- El adobe más rentable económicamente será el resultante de una mejor composición granulométrica del suelo.

CAPÍTULO 3. METODOLOGÍA

3.1. Operacionalización de variables

3.1.1. Variables dependientes:

- Resistencia a la compresión en equilibrio (kg/cm²)
- Resistencia a la compresión en estado saturado (kg/cm²)
- Durabilidad, %

3.1.2. Variables independientes:

- Porcentaje de cemento portland
- Tipo de suelo arena – limos y arcilla

Tabla 3.1: Operacionalización de variables

VARIABLE	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DIMENSIONES	ITEMS
Resistencia a la compresión en equilibrio	Carga axial en dirección perpendicular a la longitud del adobe en condiciones al ambiente.	Esfuerzo máximo	Fuerza máxima de falla por compresión axial
			Área de la cara en compresión
		Distribución de fuerzas	Superficie plana
Resistencia a la compresión en estado saturado	Capacidad de soportar una fuerza sobre un área en condiciones de saturación de agua.	Esfuerzo máximo	Fuerza máxima de falla por compresión axial
			Estado saturado
		Absorción	
Saturación			
Durabilidad	Capacidad de tener resistencia a las condiciones de la intemperie, climas agresivos o bajo agua.	Saturación de agua	Tiempo de saturación
			Condiciones del ambiente
			Estado estático del agua, sin turbulencia
Porcentaje de cemento portland	El cemento es un conglomerante, que tiene la propiedad de endurecerse al contacto con el agua.	Selección del tipo de cemento	Por su aplicación
			Precio del material
			Propiedades
		Porcentaje de cemento	Por su peso
Estabilizante			
Tipo de suelo arena – limos y arcilla	El tipo de suelo varía de acuerdo a la textura de estas que son definidas por la granulometría del suelo.	Propiedades físicas	Granulometría por tamizado
			Humedad
			Plasticidad
		Propiedades químicas	PH
			Conductividad
			Salinidad

Fuente: Elaboración Propia

3.2. Diseño de investigación

Es un diseño **experimental** con post-prueba únicamente. Es de tipo factorial porque se desea comprender el efecto de dos variables independientes respecto de cada variable dependiente. La manipulación de las variables independientes alcanzan solo dos niveles: presencia y ausencia.

3.3. Unidad de estudio

Para la evaluación de los resultados de la tesis se tomará como unidad el adobe artesanal por moldeado manual, debido a que cada adobe otorgará una única información, conjuntamente con los resultados de las demás adobes se llevará un procedimiento estadístico proporcionando una respuesta más confiable.

Cada adobe será ensayado bajo las normas, que nos aseguren de poder tener resultados confiables.

3.4. Población

Adobes artesanales por moldeado manual con adición de cemento.

3.5. Muestra

El tipo de muestreo será no probabilístico de juicio, pues para ensayar materiales de construcción con resultados verídicos se deben conocer las circunstancias locales desde un punto de vista técnico. Sin embargo, con la finalidad de poder obtener promedios y resultados más cercanos a la realidad, se elaboraron adobes con los tamaños mostrados en la figura 3.1; donde se empleó tierra de la zona de las campiñas de Moche, arena gruesa de la cantera del Milagro, cemento portland tipo I y agua potable.

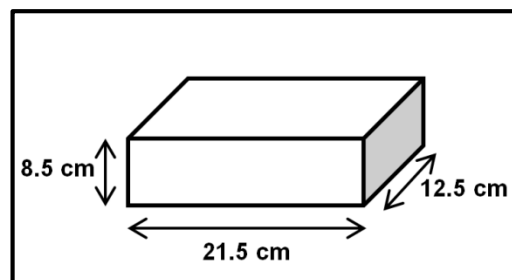


Figura 3.1: Dimensiones del adobe diseñado

Fuente: Elaboración propia

- El número de muestra:
 - Variables independientes: 2
 - A.- Tipo de suelo arena-arcilla: a_1 (50/50), a_2 (55-70/30-45), a_3 (75/25).
 - B.- Porcentaje de cemento portland: b_1 (0%), b_2 (3%), b_3 (6%), b_4 (9%), b_5 (12%).
 - Variables dependientes: 3
 - Resistencia a la compresión de la unidad de adobe en equilibrio (kg/cm^2)
 - Resistencia a la compresión de la unidad de adobe en estado saturado (kg/cm^2)
 - Durabilidad (%)

$$N \text{ muestra} = (V. \text{ independientes} \times \text{subgrupo}) \times (v. \text{ dependiente}) \times (\text{réplicas})$$

Numero de muestras para variable dependiente 1

$$N \text{ muestra} = (VIA \times \text{subgrupo}) \times (VIB \times \text{subgrupo}) \times (VD1) \times (\text{réplicas})$$

$$N \text{ muestra} = (1 \times 3) \times (1 \times 5) \times (1) \times (5)$$

$$N \text{ muestra} = 75$$

Para hallar la primera variable dependiente se necesita un total de 75 unidades de adobe.

Numero de muestras para variable dependiente 2

$$N \text{ muestra} = (VIA \times \text{subgrupo}) \times (VIB \times \text{subgrupo}) \times (VD2) \times (\text{réplicas})$$

$$N \text{ muestra} = (1 \times 3) \times (1 \times 4) \times (1) \times (5)$$

$$N \text{ muestra} = 60$$

Para hallar la segunda variable dependiente se necesita un total de 60 unidades de adobe.

Numero de muestras para variable dependiente 3

$$N \text{ muestra} = (VIA \times \text{subgrupo}) \times (VIB \times \text{subgrupo}) \times (VD3) \times (\text{réplicas})$$

$$N \text{ muestra} = (1 \times 3) \times (1 \times 5) \times (1) \times (3)$$

$$N \text{ muestra} = 45$$

Para hallar la tercera variable dependiente se necesita un total de 45 unidades de adobe.

3.6. Técnicas, instrumentos y procedimientos de recolección de datos

3.6.1. Técnicas e instrumentos

- La técnica principal para la recolección de datos fue la observación directa, esto sirvió para obtener información y resultados confiables de los ensayos que se realizaron de acuerdo a las variables formuladas anteriormente, así mismo.
- El instrumento para la recolección de datos acerca de las características y producción de los adobes en Trujillo fue la Guía de observación (Ver Anexo N°1)
- Se utilizaron distintas plantillas que se muestran en cada procedimiento de los ensayos para su recolección y toma de datos. (Ver pag. 55 – pag. 67)

3.6.2. Procedimientos de recolección de datos

3.6.2.1. Análisis de clasificación de los suelos de adobes y la materia prima.

3.6.2.1.1. Análisis físicos

a) Contenido de humedad.

Método de ensayo para determinar el contenido de humedad de un suelo. Norma técnica peruana NTP 339.127 SUELOS.

Con la parte seleccionada de la muestra por el cuarteo. Se pesaron los recipientes de aluminio donde estarán las muestras de suelo, incluyendo la tapa del recipiente (C).

Se colocó las muestras en 3 recipientes y todas se pesaron una a una con el material adentro (A). Se colocaron los recipientes con las muestras en el horno a una temperatura de $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$ por 15 horas. Pasado el tiempo se pesó todos los recipientes con la muestra seca en su interior (B). Con la fórmula se consiguió el contenido de humedad del suelo con el que se está trabajando siguiendo la tabla 3.2.

Esto se realizó a la tierra de los adobes conseguidos de la zona y a la que va a ser usada para la elaboración de los propios de la tesis.

$$W = \frac{A - B}{B - C} \times 100 = \frac{w_w}{w_s} \times 100$$

Dónde:

W = contenido de humedad expresado en %

W_w = Peso del agua existente en la masa de suelo (gr)

W_s = Peso seco de las partículas sólidas (gr)

Tabla 3.2: Plantilla de toma de datos de contenido de humedad

Muestra	M1	M2	M3
P. lata + m. húmeda (gr)			
P. lata + m. seca (gr)			
P. lata (gr)			
M. húmeda (gr)			
M. seca (gr)			
Peso Agua (gr)			
Contenido de humedad (%)			
Promedio (%)			

Fuente: Elaboración Propia

b) Granulometría.

Método de ensayo para el análisis granulométrico. NTP 339.128 SUELOS.

Se le hizo la granulometría al material para de esa manera obtener la curva granulométrica.

Se realizó este ensayo a los adobes de la zona y tanto a la tierra como a la arena que sirvieron como materia prima. Esto fue determinante para poder hallar la cantidad de los porcentajes de tierra y arena necesarios para llegar a los límites deseados de los tipos de suelo usados en la elaboración del adobe.

El proceso comenzó con una muestra representativa obtenida por cuarteo del material a ensayar y se tomó el peso de esta (A). A través de la malla n° 200 se hizo un lavado del material para que los finos pasen a través de la malla; al terminar el lavado se recogió el material retenido y se puso a la estufa para que seque. Pasado el período de secado del material, se pesó (B). Con la muestra restante se hizo el tamizado del material haciendo uso de las mallas N° 1 1/2", N° 1", N° 3/4", N° 1/2", N° 3/8", N° 4, N° 8, N°16, N°30, N°50, N°100 y N°200; previamente se pesaron individualmente cada malla (C). Se tomaron los pesos de los materiales retenidos en cada tamiz junto con la muestra (D). Al material perdido por lavado se le agregó al peso que pasó la malla n° 200. Los datos finalmente fueron analizados en la plantilla (ver tabla 3.3) y se

hace la gráfica de la curva granulométrica como en la figura 3.2. El módulo de finura (MF) se halla con la fórmula mostrada.

$$\text{Material perdido por lavado} = A - B$$

$$\text{Peso retenido} = D - C$$

$$\% \text{Retenido Acumulado} = \frac{\text{Peso retenido acumulado}}{\text{Peso Total}} * 100$$

$$\% \text{Que pasa} = 100 - \% \text{ Retenido Acumulado}$$

$$MF = \frac{\sum \% P. R. A. (\text{malla } n^{\circ} 100, 50, 30, 16, 8, 4, 3/8", 3/4", 1 1/2", 3" \text{ y } 6")}{100}$$

Donde P.R.A. es peso retenido acumulado

Tabla 3.3: Plantilla de toma de datos de análisis granulométrico

Tamiz nº	Abertura (mm)	Peso tamiz (gr)	Peso tamiz + muestra (gr)	Peso retenido (gr)	% Peso retenido	% Peso ret. acumulado	% Pasa
Nº 2"	50						
Nº 1 1/2"	38.5						
Nº 1"	25						
Nº 3/4"	19						
Nº 1/2"	12.5						
Nº 3/8"	9.5						
Nº 4	4.75						
Nº 8	2.36						
Nº16	1.18						
Nº30	0.60						
Nº50	0.30						
Nº100	0.15						
Nº200	0.075						
CIEGA	< 0,075						

Fuente: Elaboración Propia

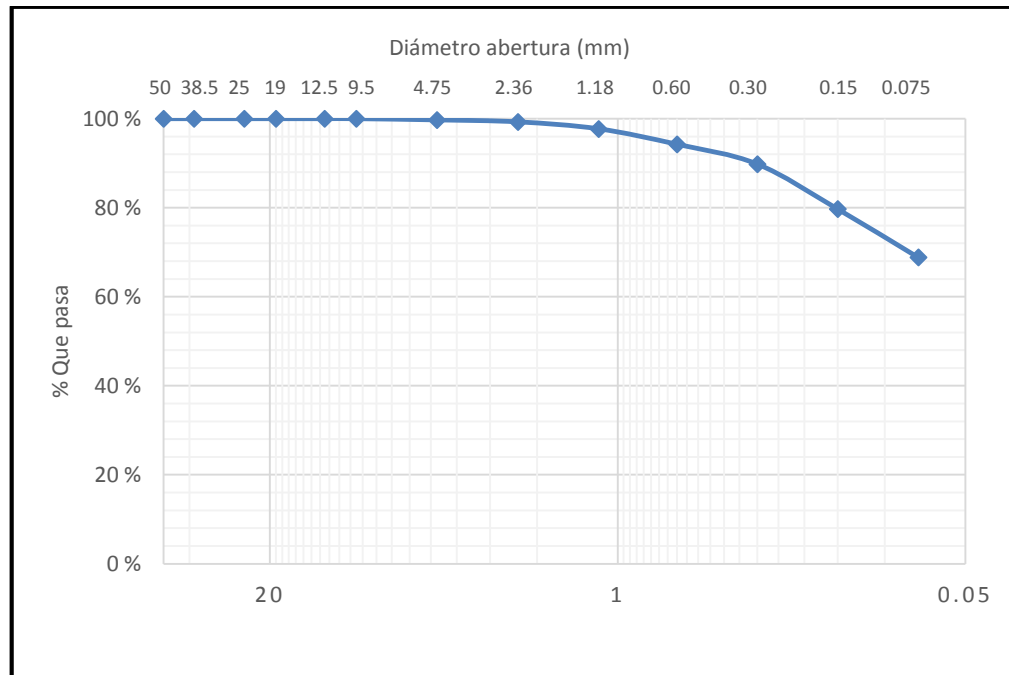


Figura 3.2 Curva granulométrica

Fuente: Elaboración Propia

c) Plasticidad.

Método de ensayo para determinar el límite líquido, límite plástico, e índice de plasticidad de suelos. NTP 339.129 SUELOS.

Límite líquido

El ensayo radicó en colocar el material en la copa de casa grande (figura 3.3). Se pulverizó una gran cantidad suficiente de suelo secado al aire para obtener una muestra representativa del material que pasa a través del tamiz n° 40 de alrededor de 250 ± 10 gr. Se verificó la altura de la máquina, la copa Casagrande, que sea exactamente de 1 cm (± 0.1 mm) utilizando la cabeza en forma de dado ubicado en el extremo superior del ranurador.

Los 250 gr. se colocaron en el recipiente de porcelana y se le añadió una pequeña cantidad de agua que fue mezclada cuidadosamente obteniendo un color uniforme y una apariencia cremosa; fueron añadidas pequeñas cantidades de agua hasta que se obtuvo una mezcla homogénea. La mezcla se colocó en la cazuela no llenando hasta el tope, solo su parte frontal; con la ranura se hizo una división al medio de 12.7 mm.

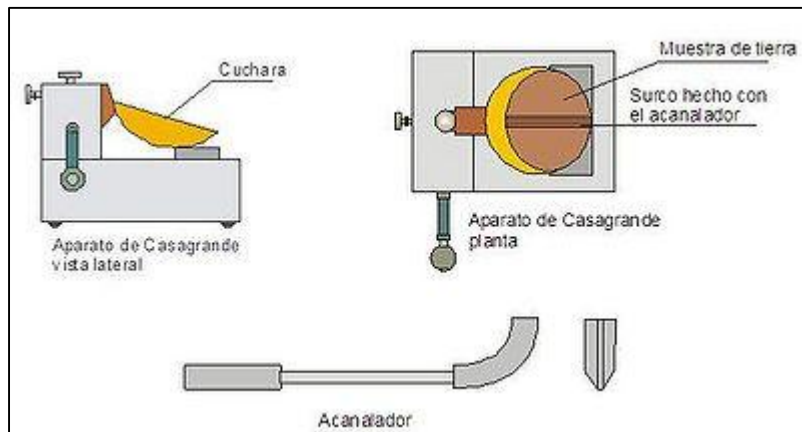


Figura 3.3: Copa de Casagrande **Fuente:** www.construmatica.com

Se manipuló la máquina hasta que esta se cerrara, sacando una pequeña cantidad y contabilizando el número de golpes. Se repitió el proceso hasta obtener muestras dentro del rango de número de golpes entre 10-20, 20-30 y 30-40. A estas muestras se les hizo el procedimiento del contenido de humedad usando las mismas fórmulas siguiendo la tabla 3.4.

El límite líquido fue obtenido de la curva de fluidez, contenido de humedad vs número de golpes (figura 3.4), cuando el número de golpes fue igual a 25.

Tabla 3.4: Plantilla de toma de datos del límite líquido

Nº de lata	1	2	3
Peso de suelo húmedo + lata (gr):			
Peso de suelo seco + lata (gr):			
Peso de lata (gr):			
Peso de suelo seco (gr):			
Peso de agua (gr):			
Contenido de Humedad (%):			
Nº de golpes:			

Fuente: Elaboración Propia

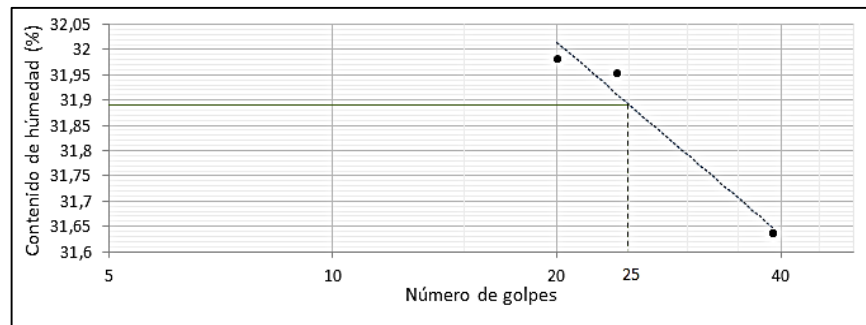


Figura 3.4: Curva de fluidez

Fuente: Elaboración Propia

Limite plástico

Al material que fue separado del límite líquido se le añadió pequeñas cantidades de agua. Esta mezcla fue hecha una masa de suelo de forma elipsoidal y se le enrolló repetidamente a mano sobre una placa de vidrio hasta que se logran pequeños rollitos de 3.2 mm de diámetro donde estos se rompieron en pequeños pedazos. Con estos pedazos se hizo nuevamente una masa y se repitió el procedimiento. Se repitió el procedimiento hasta que el cilindro de suelo se rompió bajo la presión de enrollamiento y no logro permitir que se le enrolle adicionalmente. Se recogieron las muestras y a estas se les hizo el procedimiento del contenido de humedad usando las mismas fórmulas siguiendo el formato de la tabla 3.5.

Tabla 3.5: Plantilla de toma de datos del límite plástico

Nº de lata	1	2	3
Peso de suelo húmedo + lata (gr):			
Peso de suelo seco + lata (gr):			
Peso de lata (gr):			
Peso de suelo seco (gr):			
Peso de agua (gr):			
Contenido de Humedad (%):			
Límite plástico			

Fuente: Elaboración Propia

Índice de plasticidad

El índice de plasticidad se obtuvo mediante la siguiente fórmula:

$$IP=LL-LP$$

Valores menores de 10 indican baja plasticidad y valores cercanos a 20 señalan suelos muy plásticos El ensayo se repitió para los adobes conseguir de la zona y la tierra a usar en la conformación de los adobes.

d) Clasificación SUCS

Método para la clasificación de suelos con propósitos de ingeniería (Sistema unificado de clasificación de suelos, SUCS). NTP 339.134 SUELOS.

La clasificación SUCS se realizó siguiendo las pautas establecidas por la norma. Esta clasificación divide los suelos en grano grueso, grano fino y suelos orgánicos. Estos suelos se designan por símbolos de grupo que constan de un prefijo y un sufijo (figura 3.5). Los prefijos son las iniciales de los nombres ingleses de los seis principales tipos de suelos (grava, arena, limo, arcilla, suelos orgánicos de grano fino y turba), mientras que los sufijos indican subdivisiones en dichos grupos.

DIVISIONES MAYORES		SÍMBOLO		DESCRIPCIÓN
		SUCS	GRÁFICO	
SUELOS GRANULARES	GRAVA Y SUELOS GRAVOSOS	GW		GRAVA BIEN GRADUADA
		GP		GRAVA MAL GRADUADA
		GM		GRAVA LIMOSA
		GC		GRAVA ARCILLOSA
	ARENA Y SUELOS ARENOSOS	SW		ARENA BIEN GRADUADA
		SP		ARENA MAL GRADUADA
		SM		ARENA LIMOSA
		SC		ARENA ARCILLOSA
SUELOS FINOS	LIMOS Y ARCILLAS (LL < 50)	ML		LIMO INORGÁNICO DE BAJA PLASTICIDAD
		CL		ARCILLA INORGÁNICA DE BAJA PLASTICIDAD
		OL		LIMO ORGÁNICO O ARCILLA ORGÁNICA DE BAJA PLASTICIDAD
	LIMOS Y ARCILLAS (LL > 50)	MH		LIMO INORGÁNICO DE ALTA PLASTICIDAD
		CH		ARCILLA INORGÁNICA DE ALTA PLASTICIDAD
		OH		LIMO ORGÁNICO O ARCILLA ORGÁNICA DE ALTA PLASTICIDAD
SUELOS ALTAMENTE ORGÁNICOS	Pt		TURBA Y OTROS SUELOS ALTAMENTE ORGÁNICOS.	

Figura 3.5: Simbología de suelos

Fuente: RNE E.050
Suelos y cimentaciones

3.6.2.1.2. Ensayos de laboratorio análisis químicos

Con la ayuda de los equipos necesarios, se hicieron los ensayos a la arena y la tierra seleccionada para el desarrollo de la tesis. De esta manera se hallaron las siguientes propiedades químicas: pH, conductividad, salinidad y solidos totales suspendidos.

Se tomó de cada muestra 100gr para el ensayo. Se lavaron las herramientas e instrumentos a utilizar en el laboratorio con agua potable y luego con agua destilada. Se colocaron los 100gr de muestra en un vaso de justificación (vaso de precipitación) para después ser llevados los 100 gr. de muestra a una balanza para colocar la cantidad exacta de agua destilada (200 ml), y luego hacer la agitación respectiva. Se agitó y esperó un tiempo de 30 minutos para que remoje bien. Se analizó sus propiedades en el equipo de Multiparametros y el Peachimetro (toma de datos). La medida de la conductividad es en $\mu\text{s}/\text{cm}$. Se hizo un contraste con agua destilada para ver si es que existen variaciones en la máquina, viendo que esta se encontrara calibrada. Los datos se fueron tomando en la plantilla de datos (Ver tabla 3.6).

Tabla 3.6: Plantilla de toma de datos del análisis químico

Parámetros	pH	Conductividad	Salinidad	Solidos totales suspendidos
		$\mu\text{s}/\text{cm}$	ppm	ppm
Agua Potable				
Agua Destilada				
Tierra				
Arena				

Fuente: Elaboración Propia

3.6.2.2. Elaboración de unidades de adobes estabilizados

3.6.2.2.1. Dimensionamiento

A los adobes obtenidos de las 3 adoberas de la zona de Trujillo se les tomó las medidas del largo, ancho y altura; determinando así la fabricación de una gavera de madera de dimensiones promedio a las existentes en la zona, siendo estas de 21.5 x 12.5 x 8.5 cm.

3.6.2.2.2. Dosificación y elaboración de la mezcla

- a) El tipo de suelo arena – limos y arcilla en la construcción del adobe se realizó con 3 porcentajes distintos:
- La primera se realizó con una mezcla de tierra con **un aproximado de 50% de arena y 50% de limos y arcilla.** Esta gradación es por debajo del límite de arena permitido.
 - La segunda fue dentro del rango que establece la norma NTE E.080_2006 con una mezcla de tierra **entre 55-70% de arena y entre 30-45% de limos y arcilla (10 – 20% de arcilla, 15 – 25% de limos).**
 - La tercera se realizó con una mezcla de tierra **con un aproximado de 75% de arena y 25% de limos y arcilla.** Esta gradación es por encima del límite de arena permitido.
- b) Para llegar a los porcentajes establecidos de las 3 diferentes tipos de suelo se mezcló con arena que previamente fue analizada granulométricamente.
- c) Para hallar el porcentaje de cemento usado, se elaboraron discos de adobes con los tres distintos tipos de tierra a usar y a todos se les agregó porcentaje de cemento del 1 al 10. Secos los discos se los sometió bajo agua por un día y se observó su reacción.
- d) El cemento se calculó en base al peso de la mezcla de suelo. Los porcentajes del cemento fueron al 0%, 3%, 6%, 9% y 12%.
- e) Las mezclas se hicieron usando una cantidad para el conformado de 10 adobes, lo que era entre 42 a 51 kg. (Ver anexo 5) de suelo graduado de acuerdo a los porcentajes de cada combinación.
- f) Se pesaron en una balanza de 30 kg \pm 1 gr. Se distribuyeron en una superficie limpia, rígida y no absorbente agregando la cantidad de estabilizante y mezclando hasta obtener un color uniforme. Dicha uniformidad se obtuvo paleando de un sitio a otro la tierra y el cemento.
- g) La cantidad de agua óptima para la conformación fue variable de acuerdo al tipo de suelo y el porcentaje de cemento. Se calculó en base al peso de la mezcla de suelo (Ver tabla 3.7).

Tabla 3.7: Porcentaje de Agua utilizada en conformación de adobes

Proporciones		Cemento, %	Agua, %
Arena, %	Limo - Arcilla, %		
50	50	0	21.0
		3	24.4
		6	25.3
		9	27.0
		12	29.0
55 – 70	30 - 45	0	18.0
		3	21.0
		6	22.4
		9	23.3
		12	23.8
75	25	0	15.0
		3	18.1
		6	18.9
		9	19.6
		12	20.1

Fuente: Elaboración Propia

- h) Al molde o gavera se le añadió arena fina en sus contornos antes de vaciar la mezcla en el para que pueda permitir una separación entre la masa y el molde.
- i) Se dejó que los adobes sequen bajo cubierta para después ensayarlos.

3.6.2.2.4. Tiempo de secado de los adobes

Los pesos de los adobes elaborados fueron tomados en una balanza digital para hallar el tiempo de secado de las muestras (ver tabla 3.8) después de eso se procedió a graficar el peso sobre el tiempo de secado.

$$\text{Variación pérdida de pesos} = P_i - P_f$$

$$\% \text{ Variación pérdida de pesos} = \frac{P_i - P_f}{P_f} * 100$$

Dónde:

- P_i es el peso inicial (gr)
- P_f es el peso final (gr)

Tabla 3.8: Plantilla de toma de datos del tiempo de secado

DÍAS	% CEMENTO	Peso de los adobes			Variación por pérdida de peso			Variación de pérdida de peso		
		Gr			gr			%		
		T1	T2	T3	T1	T2	T3	T1	T2	T3

Fuente: Elaboración Propia

3.6.2.3. Ensayo a la compresión en equilibrio

- Guiándose de la NTE E.080_2006 y NTE E.080_2017 de Adobes, se realizó el ensayo.
- Con una regla metálica de sensibilidad de 0.1 mm se procedió en el adobe a tomar las medidas del área (largo y ancho) donde se aplicó la carga.
- Se sometieron a ensayos de compresión axial a los adobes obtenidos de las adoberas de la zona de Trujillo y a los adobes elaborados que fueron 25 por cada tipo de suelo. Para el procedimiento se colocó el espécimen con una de sus caras mayores sobre el apoyo de la máquina, colocándose una plancha de neopreno con espesor de 1 cm. en ambas caras para nivelar las áreas donde se aplica la fuerza. Se hizo descender el vástago solidario al cabezal, maniobrando suavemente la rótula hasta obtener un contacto perfecto sobre la cara superior del espécimen, asegurando que el eje de la misma coincida con el eje longitudinal del espécimen. Para el ensayo se usó la máquina de compresión del Laboratorio de la Universidad Privada del Norte: Forney 250, modelo F-25EX-F-Co-PILOT, de capacidad 250'000 lbs. Se accionó la prensa la cual aplica una presión constante sobre la cara superior del bloque de tierra cruda a una velocidad de 2 kgf/s, hasta que llegue a su falla.
- El cálculo de la resistencia a la compresión se obtuvo dividiendo la carga total entre el área rectangular de la cara del bloque sometida a compresión obteniendo la resistencia en kg/cm², siguiendo la plantilla de la tabla 3.9.

- La fórmula para hallar la resistencia a compresión es la siguiente:

$$\sigma = \frac{F}{A}, \quad A = \text{Largo} \times \text{Ancho}$$

Dónde:

- σ es la resistencia (kg/cm²)
- F es la fuerza normal (kgf)
- A es el área sobre la que se aplica la fuerza (cm²)

Tabla 3.9: Plantilla de toma de datos de los ensayos de compresión

% Cemento	Muestra	Largo (cm)		Ancho (cm)		Promedio (cm)		Área (cm ²)	Fuerza (Kgf)	Resistencia (Kg/cm ²)
		L1	L2	A1	A2	L	A			

Fuente: Elaboración Propia

3.6.2.4. Ensayo a la compresión en estado saturado

- Los adobes elaborados, que fueron 16 por cada tipo de suelo, fueron sumergidos bajo agua por un día. Con una regla metálica de sensibilidad de 0.1 mm se procedió en el adobe a tomar las medidas del área (largo y ancho) donde se aplicó la carga.
- Se sometieron a ensayos de compresión axial; para el procedimiento se colocó el espécimen con una de sus caras mayores sobre el apoyo de la máquina, colocándose una plancha de neopreno con espesor de 1 cm en ambas caras para nivelar las áreas donde se aplica la fuerza. Se hizo descender el vástago solidario al cabezal, maniobrando suavemente la rótula hasta obtener un contacto perfecto sobre la cara superior del espécimen, asegurando que el eje de la misma coincida con el eje longitudinal del espécimen. Para el ensayo se usó la máquina de compresión del Laboratorio de la Universidad Privada del Norte: Forney 250, modelo F-25EX-F-Co-PILOT, de capacidad 250'000 lbs. Se accionó la prensa la cual aplica una presión constante sobre la cara superior del bloque de tierra cruda a una velocidad de 2 kgf/s, hasta que llegue a su falla.
- El cálculo de la resistencia a la compresión se obtuvo dividiendo la carga total entre el área rectangular de la cara del bloque sometida a compresión obteniendo la resistencia en kg/cm², siguiendo la plantilla de la tabla 3.9.

- La fórmula para hallar la resistencia a compresión es la siguiente:

$$\sigma = \frac{F}{A}, \quad A = \text{Largo} \times \text{Ancho}$$

Dónde:

- σ es la resistencia (kg/cm²)
- F es la fuerza normal (kgf)
- A es el área sobre la que se aplica la fuerza (cm²)

3.6.2.5. Durabilidad

- Se tomaron los pesos de todas las unidades de adobe en estado seco en una balanza de capacidad de 5000 gr con sensibilidad de 0.1 gr (P_i).
- Se sumergieron bajo agua por el período de una semana en una poza. Se extrajeron las muestras y se las dejó secar al aire libre.
- Los adobes se colocaron a la estufa a 110 ± 5 °C por 24 horas para que quede en un estado completamente seco y sea pesado en una balanza analítica (P_f).
- La pérdida de volumen del material a través de los pesos iniciales y finales del adobe se halló haciendo uso de la tabla 3.10 y aplicando las siguientes fórmulas:

$$\text{Variación pérdida de pesos} = P_i - P_f$$

$$\% \text{ Variación pérdida de pesos} = \frac{P_i - P_f}{P_i} * 100$$

Dónde:

- P_i es el peso inicial (kg)
- P_f es el peso final (kg)

Tabla 3.10: Plantilla de toma de datos de durabilidad

% Cemento	Peso seco (kg)									Porcentaje de variación de pérdida peso		
	Antes de sumergir (Pi)			Después de sumergir (Pf)			Variación de pérdida de peso (Pi - Pf)					
	T1	T2	T3	T1	T2	T3	T1	T2	T3	T1	T2	T3
0												
3												
6												
9												
12												

Fuente: Elaboración Propia

3.7. Métodos, instrumentos y procedimientos de análisis de datos

3.7.1. Métodos e instrumentos

- Los métodos usados para el análisis de datos fue la investigación, revisión y comparación con antecedentes de investigación y marco teórico quienes dan realce y valor a los resultados obtenidos.
- Para la visita a las adoberas de la zona de Trujillo se empleó una hoja de observación mostrada en el Anexo n° 1, esta ficha fue llevada para tomar apuntes de las características propias de las adoberas a analizar.
- Para el procesamiento de los datos obtenidos se usaron hojas de cálculo en Microsoft Excel, donde se plasmó lo obtenido en tablas y gráficos para desarrollar una mejor visión de los resultados.

Las hojas empleadas para la toma de los análisis de datos se muestran en los anexos n° 2, 3, 4, 5 y 6 con los datos detallados y sus resultados.

- Haciendo uso de hojas de cálculo en Microsoft Excel y fórmulas estadísticas, se hacen comparaciones estadísticas a los datos para darle un mayor valor a los resultados de los ensayos.

3.7.2. Procedimientos de análisis de datos

- Después de terminado la toma de datos, estos fueron trabajados en computadora, llevado a las hojas de cálculo previamente elaboradas con sus plantillas mostradas en los anexos n° 2, 3, 4, 5 y 6.
- Haciendo uso de las fórmulas detalladas en el procedimiento de cada uno de los ensayos, se hallaron todos los resultados mostrados en el capítulo 4.
- Se elaboraron gráficos comparativos a los resultados para tener una mejor visión de la comparación de las variables. (Ver resultados pag.69 – pag.76)
- Con las hojas de cálculo y formulas estadísticas, se analizaron los resultados de las variables estadísticamente, hallando su varianza, desviación estándar y coeficiente de variación.
- Las discusiones de los datos se hicieron siguiendo un orden de acuerdo al procedimiento de recolección de datos, sustentando los puntos de vista con fuentes de investigación previa y marco teórico, donde sus fuentes se encuentran citadas en la bibliografía de la tesis.

CAPÍTULO 4. RESULTADOS

4.1. Caracterización física y mecánica de los adobes artesanales de Trujillo

4.1.1. Análisis físico de los adobes artesanales

Se muestra la tabla 4.1, 4.2 y la figura 4.1 del análisis físico de los adobes artesanales de la zona y la granulometría respectivamente que resumen los valores de los 3 distintos sectores que conforman adobes artesanales. (Ver anexo N°2).

Tabla 4.1: Análisis granulométrico de los adobes artesanales

Composición de la Muestra		Norma E.080_2006	Moche		San Isidro		Av. Villarreal			
% Grava	% Grava gruesa : de 80 a 40 mm (de 3" a 1 ½")	0	0	0	0	8	0	2		
	% Grava Fina : de 40 a 20 mm (1 ½" a ¾")		0		0					
	% Gravilla : de 20 a 10 mm (¾" a 3/8")		0		5		1			
	% Grava arena : de 10 a 5 mm (3/8" a N° 4)		0		3		1			
%Arena	% Grano grueso : de 5 a 2 mm (N° 4 a N° 10)	55 - 70	1	55	2	67	1	65		
	% Grano medio : de 2 a 0,50 mm (N° 10 a N° 40)		5		4		4			
	% Grano fino : de 0,50 a 0,080 mm (N° 40 a N° 200)		49		61		60			
%Finos	% Limo arcilloso:	% Limo	15 - 25	30 - 45	45	45	25	25	33	33
		% Arcilla	10 - 20							

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 4.2: Análisis físicos de los adobes artesanales

Ubicación de adobera	Moche	San isidro	Villarreal
Límite líquido, %	26.2	NP	23.1
Límite plástico, %	10.5	NP	15.1
Índice de plasticidad, %	15.7	NP	8.0
Humedad, %	2.9	1.6	2.2
S.U.C.S.	SC	SM	SC

Fuente: Elaboración Propia

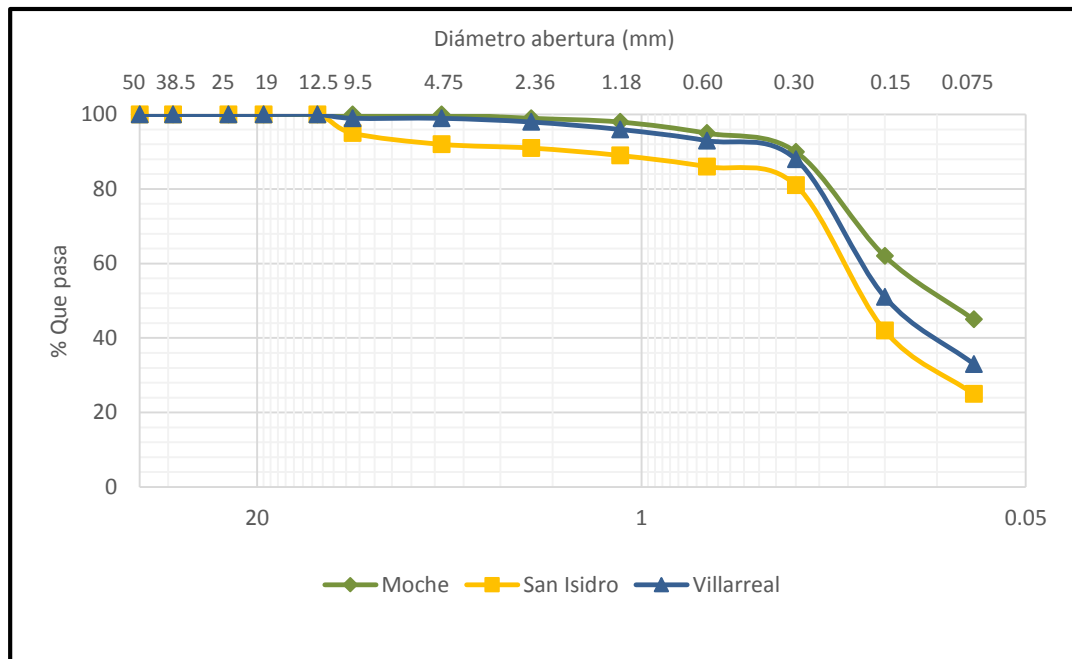


Figura 4.1: Curva granulométrica de los adobes artesanales de Trujillo

Fuente: Elaboración propia

A continuación, la tabla 4.3 muestra los datos promedios obtenidos de las medidas de largo, ancho y alto de los adobes conseguidos en la ciudad de Trujillo. (Ver anexo N°3)

Tabla 4.3: Dimensiones de los adobes artesanales

Adobera	Largo	Ancho	altura
	cm		
Moche	21.6	12.1	8.4
San Isidro	21.7	12.7	8.8
Villarreal	21.4	12.4	8.6
Promedio	21.6	12.4	8.6

Fuente: Elaboración Propia

4.1.2. Análisis mecánico de los adobes artesanales

Se muestra la figura 4.2 indicando los resultados promedios de los ensayos a compresión de los adobes de las 3 adoberas para obtener las resistencias de estos a una fuerza de compresión axial (Ver anexo N° 2).

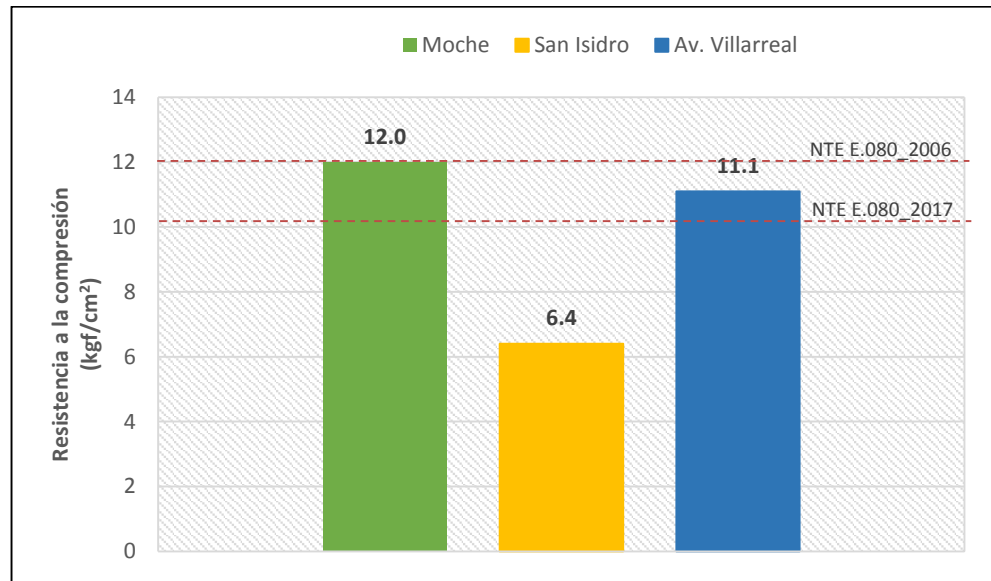


Figura 4.2: Resistencia a la compresión de los adobes artesanales de Trujillo

Fuente: Elaboración propia

4.2. Análisis de la materia prima

4.2.1. Análisis físico - químico

La tabla 4.4 y 4.5 muestran los valores promedios del análisis granulométrico de la materia prima y los distintos ensayos físicos realizados a las muestras de la tierra a usar respectivamente (*Ver anexos N°3 y 4*).

Tabla 4.4: Análisis granulométrico de la materia prima

Composición de la Muestra		Tierra		Arena	
%	% Grava gruesa : de 80 a 40 mm (de 3" a 1 ½")	0	0	0	3
	% Grava Fina : de 40 a 20 mm (1 ½" a ¾")	0		0	
	% Gravilla : de 20 a 10 mm (¾" a 3/8")	0		0	
	% Grava arena : de 10 a 5 mm (3/8" a N° 4)	0		3	
%Arena	% Grano grueso : de 5 a 2 mm (N° 4 a N° 10)	1	31	10	94
	% Grano medio : de 2 a 0,50 mm (N° 10 a N° 40)	5		30	
	% Grano fino : de 0,50 a 0,080 (N° 40 a N° 200)	25		54	
%Finos	% Limo - arcilloso:	69	69	3	3
				MF	2.32

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 4.5: Análisis físico de la tierra

Muestra	Promedio
Límite líquido, %	31.9
Límite plástico, %	11.0
Índice de plasticidad, %	20.9
Humedad, %	5.2
S.U.C.S.	CL

Fuente: Elaboración Propia

La figura 4.3, mostrada a continuación, es correspondiente a las gráficas granulométricas de la tierra, la arena y las 3 tierras correspondientes a los adobes artesanales analizados previamente para que se pueda apreciar la diferencia en sus porcentajes de tamaño.

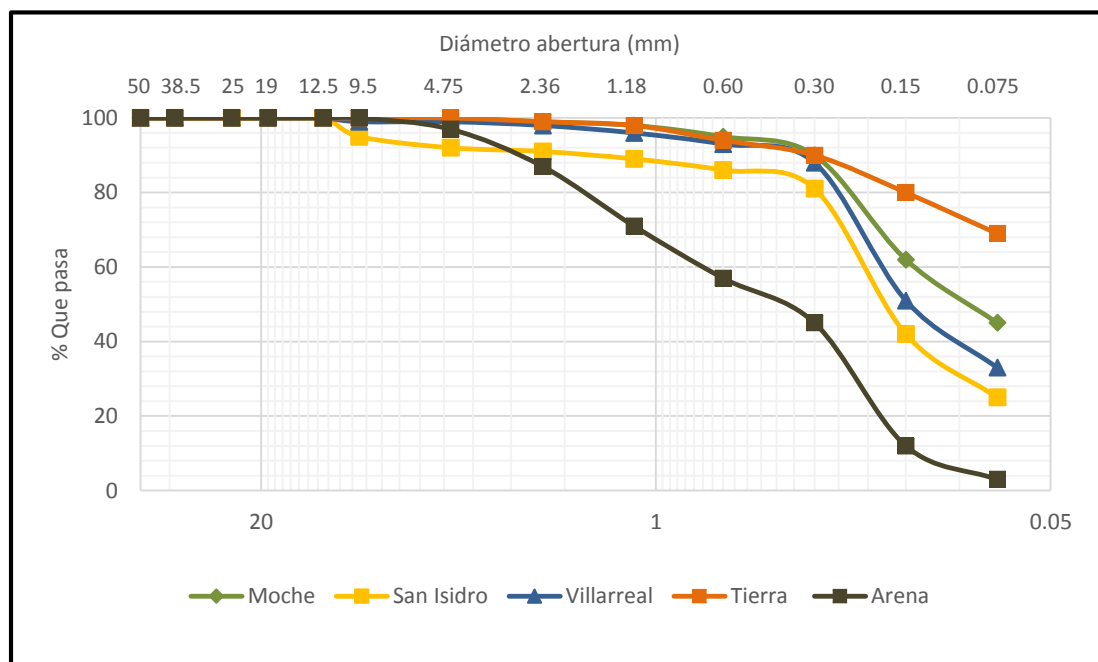


Figura 4.3: Curvas granulométricas de la materia prima y adobes artesanales

Fuente: Elaboración propia

La tabla 4.6 corresponde a los valores del análisis granulométrico de la tierra añadida con diferentes porcentajes de arena a fin de llegar a la textura de un suelo franco arenoso, rango necesario para las gradaciones de los tipos de suelo tomadas para la elaboración de los adobes. (Ver anexo N°6).

Tabla 4.6: Granulometría de la tierra con porcentajes de arena

Muestra	10%	20%	30%	40%	50%	
% Grava	1	1	0	2	1	
% Arena	%Grano grueso	1	2	2	4	4
	%Grano medio	8	11	16	16	21
	%Grano fino	28	30	33	35	38
% Finos	62	56	49	43	36	

Fuente: Elaboración Propia

Se presentan las nuevas dosificaciones del suelo para llegar a los rangos establecidos en la investigación:

- **Tierra 1:** Al agregar 30% de arena y 70% de tierra se obtiene la primera combinación, la cual es un aproximado de 50% de arena y 50% de limos - arcilla, debajo del límite de arena permitido.
- **Tierra 2:** Al agregar 50% de arena y 50% de tierra se obtiene la segunda combinación, encontrada dentro del rango que establece la norma NTE E.080_2006 con una mezcla de tierra entre 55-70% de arena y entre 30-45% de limos y arcilla (10 – 20% de arcilla, 15 – 25% de limos).
- **Tierra 3:** Al agregar 70% de arena y 30% de tierra se obtiene la tercera combinación, con un aproximado de 75% de arena y 25% de limos – arcilla se encuentra por encima del límite de arena permitido.

Para el análisis químico de la tierra, arena y agua a emplear en la conformación de los adobes se hicieron los ensayos de pH, salinidad, conductividad y solidos totales suspendidos de la tierra. Estos resultados son mostrados en la tabla 4.7.

Tabla 4.7: Análisis químico de la materia prima

Materia Prima	pH	Salinidad	Conductividad	Solidos totales suspendidos
		ppm	μs/cm	ppm
Agua Potable	8.64	800	1594	1424
Agua Destilada	8.00	0	16.59	6
Tierra	8.04	256	521	347
Arena	9.06	164	331	218

Fuente: Elaboración Propia

4.3. Tiempo de secado

A continuación, se muestra la figura 4.4 y la tabla 4.8 correspondientes a la variación por pérdida de pesos a través del tiempo cuando va secando el material; esto va desde el sexto día de elaborado el adobe hasta el día 27. (Ver anexo N°6)

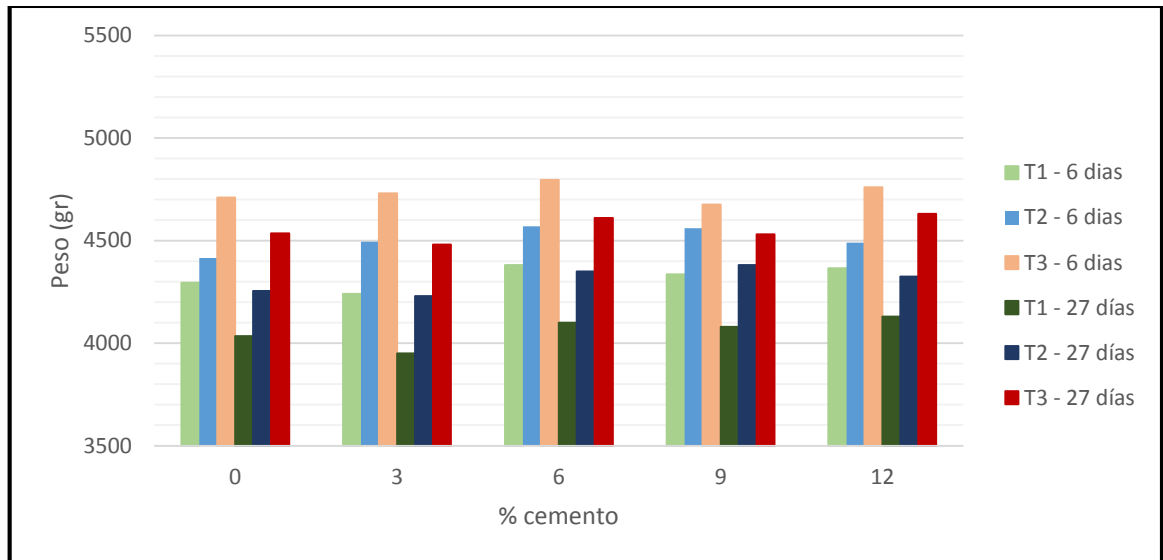


Figura 4.4: Variación de pesos de los adobes a 6 y 27 días de secado

Fuente: Elaboración propia

Tabla 4.8: Variación de pesos a los 27 días de secado

%CEMENTO	Variación por pérdida de peso (gr)			Variación de pérdida de peso (%)		
	T1	T2	T3	T1	T2	T3
0	260	160	175	6.44	3.76	3.86
3	290	265	250	7.34	6.26	5.58
6	280	220	185	6.83	5.06	4.01
9	255	180	145	6.25	4.11	3.20
12	235	165	130	5.69	3.82	2.81

Fuente: Elaboración Propia

4.4. Ensayos mecánicos

4.4.1. Ensayo a la resistencia a compresión en equilibrio

Se muestra la figura 4.5 con los resultados promedios del ensayo de resistencia a compresión de los 3 tipos de tierra empleados con sus diferentes porcentajes de cemento. (Ver anexo N°6)

- **Tierra 1:** 50% de arena y 50% de limos – arcilla.
- **Tierra 2:** Entre 55-70% de arena y entre 30-45% de limos – arcilla.
- **Tierra 3:** 75% de arena y 25% de limos – arcilla.

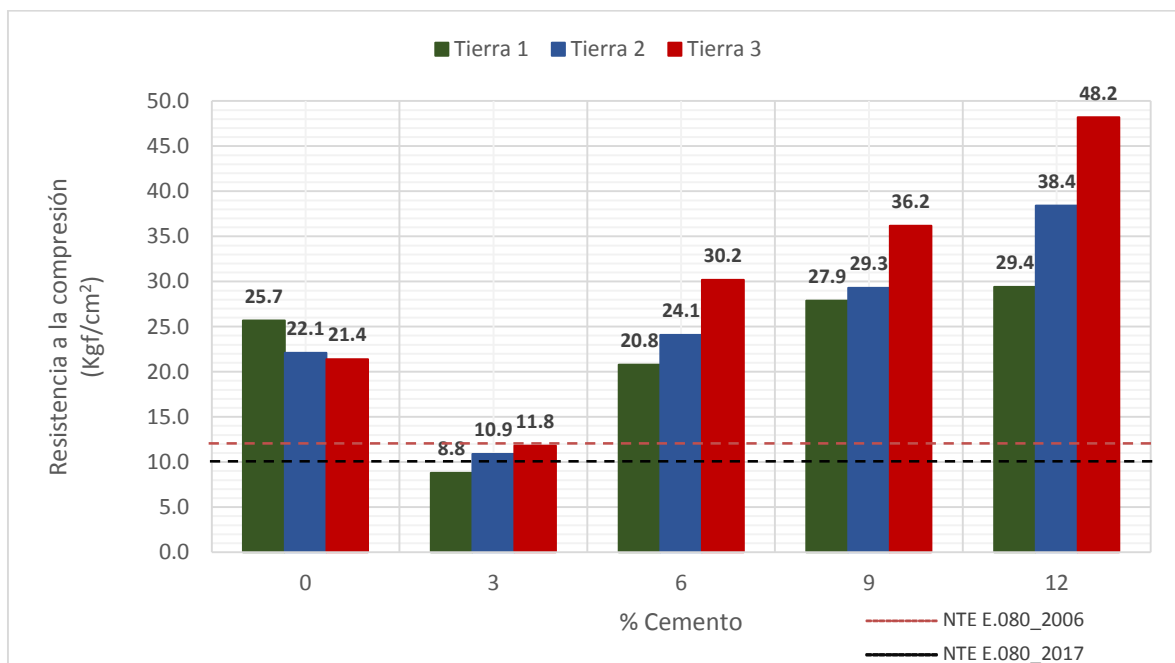


Figura 4.5: Resistencia a la compresión en equilibrio de adobes

Fuente: Elaboración propia

4.4.2. Ensayo a la resistencia a compresión en adobe saturado

A continuación, se muestra la figura 4.6 donde se observan los resultados al ensayo de resistencia a compresión de un adobe saturado, obtenidos de los 3 tipos de tierra combinada con sus diferentes porcentajes de cemento (Ver anexo N°6).

Los 3 tipos de tierra estarán expresados de la siguiente manera:

- **Tierra 1:** 50% de arena y 50% de limos – arcilla.

- **Tierra 2:** Entre 55-70% de arena y entre 30-45% de limos – arcilla.
- **Tierra 3:** 75% de arena y 25% de limos – arcilla.

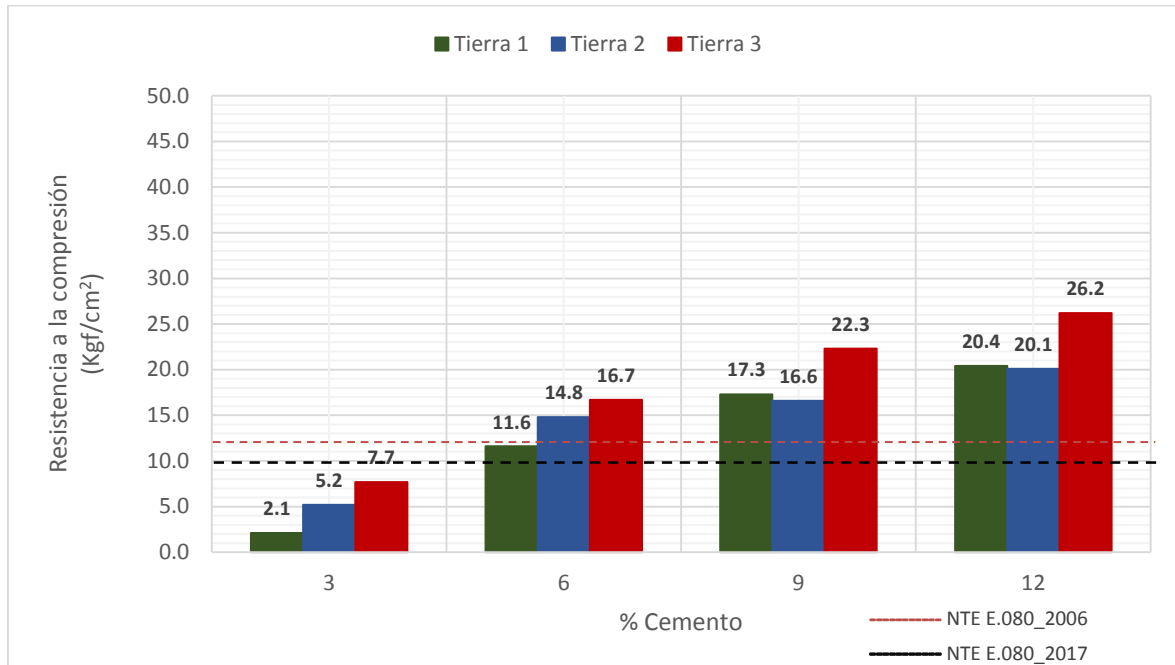


Figura 4.6: Resistencia a la compresión en adobe saturado

Fuente: Elaboración propia

4.5. Ensayos de durabilidad

Se muestra la tabla 4.9 con los resultados de la variación de los pesos obtenidos mediante la diferencia del peso seco final después de los 7 días y el peso seco inicial. Así mismo, se observa su variación de manera porcentual.

Tabla 4.9: Durabilidad de adobes estabilizados a una semana bajo agua

% Cemento	Peso seco (kg)			Porcentaje de variación de pérdida peso		
	Variación de pérdida de peso (Pi - Pf)					
	T1	T2	T3	T1	T2	T3
0	4.083	4.187	4.318	100.0	100.0	100.0
3	1.187	0.718	0.780	30.3	17.2	18.1
6	-0.097	-0.007	-0.062	-2.4	-0.1	-1.3
9	-0.035	-0.050	-0.077	-0.8	-1.1	-1.7
12	-0.050	-0.045	-0.092	-1.2	-1.0	-1.9

Fuente: Elaboración Propia

CAPÍTULO 5. DISCUSIÓN

5.1. Caracterización física y mecánica de los adobes artesanales de Trujillo

5.1.1. Análisis físico de los adobes artesanales

Se clasificó los suelos mediante el método de clasificación unificada de suelos (SUCS). El adobe de Moche clasifica como un suelo "SC", quiere decir un suelo arena arcillosa. Al contar con 55% de material retenido en la malla nº 200 y con 100% pasando el tamiz nº 4 clasifica como arena. Tiene un 45% de finos siendo mayor al 12% por lo que sigue su clasificación ahora como arena limosa o arcillosa. Su índice de plasticidad de 15.7 es mayor a 7 y está por encima de la línea A de la carta de plasticidad, además tiene menos del 15% de grava, por lo que se obtiene una arena arcillosa sin grava.

El adobe de San Isidro clasifica como un suelo "SM", es decir un suelo arena limosa. Su granulometría de 67% de material retenido en la malla nº 200, 92% pasando el tamiz nº 4 y un 25% de finos, lo hace clasificar como un suelo arena limosa o arcillosa. Además, con un índice de plasticidad menor a 4, porque este no presenta índice de plasticidad, se obtiene así una arena limosa sin grava dado que presenta un 8% de grava, menor al 15% establecido para que clasifique con presencia de grava.

El suelo del adobe de la avenida Villarreal cuenta con 65% de material retenido en la malla nº 200, 98% pasando el tamiz nº 4 y un 33% de finos por lo que clasifica como arena limosa o arcillosa. Con un índice de plasticidad de 8, mayor a 7, y estando por encima de la línea A de la carta de plasticidad, se clasifica como una arena arcillosa "SC" sin grava puesto que tiene un 2% de ese material.

La granulometría del adobe de Moche de 55% de arena, con 49% de esta siendo arena fina, y 45% de limo – arcilla; cumplen con estar dentro de los límites del establecido por el Reglamento Nacional de Edificaciones (RNE) Norma E.080_2006 en el artículo 4.1. Se utiliza los parámetros de la gradación de la Norma del año 2006 ya que en su modificación el 2017 ya no muestra este artículo, sino más bien recomiendan ensayos de campo para saber si la granulometría es adecuada para los adobes.

El adobe de San Isidro también se encuentra dentro de los límites que la Norma acepta respecto al porcentaje de arena y finos, sin embargo, también cuenta con 8% de grava. Así mismo, el adobe de la avenida Villarreal, con una cantidad de 2% grava, 65% de arena y 33% de finos, también están dentro de los rangos

establecidos por la Norma E.080_2006, a excepción del porcentaje de grava que no se encuentra considerado.

La relación arena - arcilla es importante debido a que si no hay suficiente arcilla en la mezcla no se conseguirá una cohesión necesaria de todas las partículas para soportar las solicitaciones a las que estará sometido. También si no hay suficiente arena, se fisurará por retracción de la arcilla durante el proceso de secado.

En todos los casos de los adobes analizados la arena ha sido el material predominante en la composición granulométrica; desde el punto de vista teórico autores coinciden en este aspecto como López y Bernilla (2012) indicando granulometrías de un 20% de arcilla, un 80% de arena y agua. En México se aconseja que el suelo presente entre 45 - 70% de arena, y entre 20 - 40% de arcilla. Del mismo modo, en Chile, Barrios, Álvarez, Arcos, Marchant y Rosi (1987) sugieren emplear suelos con un contenido de finos entre 35 - 45%, y un contenido de arena entre el 55 - 65%. Ducman y Kopar (2004) han sugerido un contenido de arcilla del 30%, sin decir nada respecto al contenido de arena.

Desde el punto de vista granulométrico estos adobes califican con sus porcentajes de arena y arcilla, sin embargo la presencia de gravas en algunos de ellos no está considerada por ninguno de los autores como parte de la conformación del adobe.

Entrando al análisis de la plasticidad, el adobe de Moche con un límite líquido de 26.2%, límite plástico de 10.5% e índice de plasticidad de 15.7, indica un suelo de mediana plasticidad. El adobe de San Isidro no presenta valores de plasticidad por lo que se considera como un suelo no plástico. El adobe de la avenida Villarreal con un límite líquido de 23.1%, límite plástico de 15.1% e índice de plasticidad de 8, indica baja plasticidad.

Barrios, Álvarez, Arcos, Marchant y Rosi (1987) y Guinea (1987) afirman que para la mezcla de adobe es conveniente utilizar suelos con bajo índice de plasticidad, porque a más índice de plasticidad, mayor será la cantidad de agua contenida en la masa que lo convierte en moldeable y una vez seco, se tendrán mayores retracciones, por cuanto evaporará un volumen mayor de agua.

Tejada (1993) propone que los suelos para elaborar adobe presenten un límite líquido entre 20 - 40; por debajo de 20% se trata de suelos no cohesivos y por encima de 40% el comportamiento del suelo es deficiente ante la humedad. Un límite plástico inferior a 20 es recomendable, así mismo el índice plástico óptimo debe ser menor que 20%.

Cuanto más elevado es el IP de la tierra, mayor será su variación volumétrica en presencia de agua (hinchamiento por humedecimiento).

En ambos casos se cumplió con índices de plasticidad bajos y se estuvo entre los rangos establecidos por Tejada.

Cid y Cañas (2009) nos dicen que la plasticidad es importante porque permite especificar la cantidad de agua para el conformado sin presencia de grietas ni contracción. Citan unos rangos de valores aceptables de índice de plasticidad entre 16 - 28 y límite líquido entre 32 – 46. Para este caso no se llegaron a tener los datos dentro de los rangos establecidos por este autor.

Se adjunta un cuadro comparativo (ver tabla 5.1) acerca de lo descrito del análisis de los adobes en Trujillo.

Tabla 5.1: Cuadro comparativo de los adobes artesanales

Adobera	Moche	San Isidro	Av. Villarreal
Clasificación S.U.C.S	SC (arena arcillosa sin grava)	SM (arena limosa sin grava)	arena arcillosa sin grava
Material retenido en malla nº 200, %	55	67	65
Material que pasa malla nº 4, %	100	92	98
Finos, %	45	25	33
Índice de plasticidad	15.7	0	8
Grava, %	0 < 15	8 < 15	2 < 15
Granulometría como indica NTE E.080_2006	Sí cumple	Sí cumple en arena y finos, pero cuenta con presencia de grava	Sí cumple en arena y finos, pero cuenta con presencia de grava
Análisis de plasticidad según LI, LP e IP	Suelo de mediana plasticidad	Suelo no plástico	Suelo de baja plasticidad

Fuente: Elaboración Propia

Las dimensiones resultantes de los 3 adobes fueron en sus 3 medidas cercanas entre sí. Como ya se ha investigado en la realidad problemática acerca de las dimensiones de los adobes, es muy variable dependiendo la zona donde se encuentre; se había comentado sobre tamaños en la antigüedad hallados en las Huacas de la Luna de tamaño estándar promedio de 30 x 19 x 13 cm (largo, ancho y alto) y también de los adobes grandes con tamaño promedio de 37 x 23 x 15 cm (largo, ancho y alto). En otros países, como Ecuador, donde varía entre 39 - 50 cm de largo, 18 - 25 cm de ancho y 12 - 21 cm de alto. En la sierra del Perú donde existen medidas típicas de 20 cm de ancho, 40 cm de largo y 10 cm de alto, muy común en la zona andina. Es por eso que se considera un tamaño promedio con las medidas de la realidad de los adobes de la zona.

Al usarse como referencia para la medida de la gavera, las dimensiones resultantes que se decidieron fueron de **21.5 cm de largo, 12.5 cm de ancho y 8.5 cm de altura.**

Al analizar estas medidas con lo que la Norma Técnica de Edificación E.080_2006 nos propone, se observa que no cumple con los parámetros. Como primer parámetro nos dice que el largo debe ser aproximadamente el doble del ancho, con un ancho de 12.5 cm debería tener un largo aproximado de 25 cm. La segunda condición es la relación entre el largo y la altura, debe ser de 4 a 1; con una altura de 8.5 cm se debería tener un largo de 34 cm. Y como último requisito nos dicen que debe ser una altura mayor a 8 cm; en ese aspecto se cumple con lo establecido.

Como se lee en el análisis, solo se cumple con uno de las tres requisitos para dimensionar un adobe según la NTE E.080_2006; sin embargo, se optan por estas medidas, dado que actualmente en la zona de Trujillo es así como se elaboran artesanalmente. Esto se le puede atribuir al tema de espacio de los ambientes, actualmente los terrenos no tienen el área de antes, son más reducidos y costosos; siendo más costoso en la costa. Por tal motivo, se prioriza ganar más espacio utilizando materiales de construcción de adecuado espesor. Antes se construían grandes adobones que ocupaban gran cantidad del área del terreno pero esto se veía compensado con las grandes dimensiones de los terrenos.

5.1.2. Análisis mecánico de los adobes artesanales

El adobe de Moche resultó con un promedio de 12 kg/cm², cumpliendo con el valor mínimo aceptable por el Reglamento Nacional de Edificaciones NTE E.080_2006 que es de 12 kg/cm². También supera el nuevo límite dado en la modificación de la NTE E.080_2017 de 10.2 kg/cm².

Los adobes de la avenida Villarreal y de San Isidro no cumplieron con la Norma NTE E.080_2006, incluso el valor del adobe de San Isidro fue muy inferior con una resistencia de 6.4 kg/cm², mientras el otro tuvo uno de 11.1 kg/cm². Sin embargo, según la nueva modificación de la NTE E.080_2017 este último de la avenida Villarreal si estaría cumpliendo la resistencia al superar el 10.2 kg/cm².

Al comparar estos datos con el antecedente de la investigación de Saroza, Rodríguez, Menéndez y Barroso (2008) vemos que los resultados de la compresión se asemejan a sus propiedades físicas del suelo usado.

En el mencionado trabajo se analizaron 12 tipos de suelos en adobes donde todos los suelos SC pasaron los 10 kg/cm² y contaban con una gradación entre 55-68% de arena y 32-40% de arcilla; también hubieron 3 casos donde hubo grava en su composición, pero en estos fue donde menos resistencia se encontró. El límite plástico fue dentro de lo propuesto por Tejada (1993), un límite líquido entre 20 - 40 y un límite plástico inferior a 20. Se puede observar también que el suelo con menos resistencia excedió los límites propuestos.

En los resultados se puede observar respecto a la granulometría que el adobe menos resistente es un tipo de suelo SM, arena limosa, y contiene porcentajes de grava que hicieron que su resistencia disminuyera. Referente a la plasticidad, al comparar con el adobe más desfavorable a la resistencia se observa que este no presenta plasticidad, al no tener plasticidad significa que la presencia de arcillas es mínima, por tanto no habrá una buena cohesión entre los elementos lo que conlleva a una disminución de su resistencia mecánica.

Respecto a los otros dos adobes, la resistencia del adobe de Moche cumple al tener buenas propiedades físicas propias para la construcción de adobes, tomando referencia el trabajo de Saroza, Rodríguez, Menéndez y Barroso (2008), sus porcentajes granulométricos hacen que tengan una buena cohesión entre ellos. Sin embargo, el adobe de la avenida Villarreal no llega al valor mínimo permisible por la NTE E.080_2006 y se le atribuye esto a la presencia de grava en su estructura, así mismo se le atribuye la forma de moldeo con el que se debe haber trabajado, al pertenecer a empresas informales y con un trabajo artesanal sin controles técnicos, resulta ser un aspecto determinante a la hora de la resistencia propia del adobe.

Todo este análisis se presenta resumido en el siguiente cuadro resumen (ver tabla 5.2):

Tabla 5.2: Cuadro resumen de resistencia a compresión de los adobes artesanales

Adobes	Resistencia a la compresión por unidad	Norma E.080_2006	Norma E.080_2017	Observaciones
Moche	Tuvo una resistencia promedio de 12 kg/cm ²	Cumple con los 12 kg/cm ² de resistencia a la compresión mínima.	Cumple con los 10.2 kg/cm ² de resistencia a la compresión mínima.	El tipo de suelo y sus porcentajes granulométricos hacen que tengan una buena cohesión entre ellos, logrando así cumplir con la resistencia.
San Isidro	Tuvo una resistencia promedio de 6.4 kg/cm ²	No cumple con los 12 kg/cm ² de resistencia a la compresión mínima.	No cumple con los 10.2 kg/cm ² de resistencia a la compresión mínima.	El tipo de suelo SM (arena limosa) y los porcentajes de grava influenciaron en su baja resistencia. El no tener plasticidad hace que la presencia de arcillas sea mínima, por lo tanto una mala cohesión que se ve reflejada en su baja resistencia.
Av. Villarreal	Tuvo una resistencia promedio de 11.1 kg/cm ²	No cumple con los 12 kg/cm ² de resistencia a la compresión mínima.	Cumple con los 10.2 kg/cm ² de resistencia a la compresión mínima.	Tiene un buen suelo, pero su presencia de grava y la forma de trabajo de moldeo hicieron que su resistencia no sea tan elevada.

Fuente: Elaboración Propia

5.2. Análisis de la materia prima

5.2.1. Análisis físico - químico

Se clasificó los suelos mediante el método de clasificación unificada de suelos (SUCS). Cuenta con 31% de material retenido en la malla nº 200, 100% pasando el tamiz nº 4, un límite líquido menor de 31.9 y un índice de plasticidad de 20.9 por lo que clasifica como arcilla magra. Con un 69% de finos, un mayor porcentaje de arena sobre la grava y un porcentaje de grava menor al 15% resulta el tipo de suelo de arcilla magra arenosa "CL".

El valor promedio del contenido de humedad de la tierra que sirvió como materia prima para la conformación de las unidades de adobe fue de 5.2%. Este indicador es la cantidad de agua que presenta la tierra en su estado normal. A diferencia de los adobes evaluados anteriormente, esta presenta un contenido de humedad más elevado.

El índice de plasticidad de 20.9 lo señala como un suelo de mediana - alta plasticidad. Estos valores están dentro de los rangos establecidos por Tejada (1993). Este valor es la referencia para el punto de inicio del porcentaje de agua a usar en la elaboración de los adobes.

En el análisis granulométrico de la tierra, grava de 0%, 31% de arena y 69% de finos, según la NTE E.080_2006, no está dentro del rango ya que presenta mucha cantidad de finos, es decir no se encuentra en el rango de 55-70% de arena y de 30-45% de finos.

El tipo de suelo obtenido tiene una textura arcillosa lo que lo hace de baja permeabilidad, es decir la velocidad con la que el agua y el aire circulan a través de los poros del suelo.

Este tipo de composición granulométrica para que pueda llegar a las dosificaciones de las mezclas estables, tendrá que ser mezclada con arena y de ese modo disminuir el porcentaje de finos.

Como resultado de la granulometría de la arena se obtuvo un porcentaje de grava de 3%, arena 94% y 3% de finos. En su mayoría consta con porcentaje de arena fina en un 54%, complementando con un 30% de arena media y 10% de arena gruesa; siendo esto muy óptimo puesto que al no contener gran porcentaje de finos ni gravas, no resultaron alterando gravemente el suelo subiendo sus porcentajes al ser mezclados con la tierra, ya que el fin principal era aumentar el porcentaje de arena de la tierra. Presenta un módulo de finura de 2.32, lo que significa que se trata de una arena fina.

Se ha puesto de manifiesto en el trabajo de Barrios, Álvarez, Arcos, Marchant y Rosi (1987), aun cuando los suelos inicialmente no puedan ser utilizados para la elaboración de adobe, su comportamiento mecánico se puede mejorar mediante la adición de arena, alcanzando al menos un porcentaje del 50% de la misma, y siempre que el contenido de arcilla sea el adecuado.

Sobre la adición de arena se debe tener en cuenta que debe ser cuidadosa, puesto que no sólo disminuye la retracción sino que además aumenta la porosidad, disminuye la cohesión y se pierden propiedades mecánicas.

La relación arcilla-arena del suelo es de gran importancia para el adobe debido a que, si no hay suficiente arcilla en la mezcla no se conseguirá la cohesión necesaria de todas las partículas para soportar las acciones a las que estará sometido. Por el contrario si no hay suficiente arena, el ladrillo se fisura, por retracción de la arcilla durante el proceso de secado.

Barrios, Álvarez, Arcos, Marchant y Rosi (1987) plantean que "...para establecer un rango se toma como nivel mínimo de arena aquél en que las fisuras, producto de la absorción de agua capilar, ya no aparezcan o sean de escasa ocurrencia y magnitud y, como nivel máximo, aquél en que se inicia la caída de resistencia a flexo tracción, el que satisface las condiciones deseables de mantener la resistencia a compresión alta y no permitir una excesiva velocidad de ascenso de humedad capilar". Ellos establecen este rango entre los niveles 55 y 65%

La cantidad de agua vertida en las mezclas (*anexo nº 6, tabla 6.28*) asegura una plasticidad suficiente evitando el exceso y el defecto; sin dejar demasiado fluida la mezcla, provocando una disminución de la resistencia, o dejando disgregado el esqueleto, debido a una falta de cohesión entre las partículas.

Esta cantidad de agua va aumentando a medida que el porcentaje de cemento lo hace de manera prácticamente lineal. Al 0% de estabilizante se toma como inicio el porcentaje de agua de acuerdo al índice de plasticidad obtenido que fue de 20.9% aproximando a 21% para la tierra con iguales porcentajes de arena y finos. Este índice bajó a medida que se disminuyó la cantidad de finos puesto que la arcilla es la que trabaja plásticamente, es por eso que para las siguientes 2 tipos de tierra el porcentaje de agua disminuyó de manera sucesiva en un 3%.

Sobre el análisis químico, al analizar la tierra arcilla magra arenosa que se tiene, se encuentra con un pH de 8.04 que se encuentra dentro del rango de básicos.

La arena por su parte con un valor de pH de 9.06 resulta ser alcalino. Cuando una solución es alcalina, o tiene una alcalinidad, significa que tiene la capacidad de neutralizar los ácidos.

La conductividad y la salinidad están relacionadas entre sí, la tierra con una conductividad de 521 $\mu\text{s}/\text{cm}$ indica que es un suelo normal ya que está en el rango $< 2 \text{ ds}/\text{m}$, al igual que la arena.

5.3. Tiempo de secado

El tiempo de secado de los adobes fue calculado en 27 días, empezando a calcular su peso desde el día 6 donde su manipulación no afectó a que se disgregue.

El peso va disminuyendo progresivamente con el pasar de los días, haciendo la diferencia mayor en los primeros días para que después vayan disminuyendo de manera lenta.

La contracción en las mezclas del suelo con cemento es el resultado de la pérdida de agua por secado y de las reacciones ocurridas durante la hidratación del cemento. Los factores que influyen en el grado de agrietamiento como consecuencia de la misma son numerosos y complejos, entre ellos están: el tipo y cantidad de cemento utilizado, que en este caso el tipo fue el mismo para todos pero el porcentaje de cemento varió; el contenido de agua aplicado en el campo, que fue variando de acuerdo al tipo de tierra y porcentaje de cemento; y las propiedades de los agregados, que en el desarrollo fueron 3 distintas tierras.

Analizando desde el punto de vista del tipo de suelo; la Tierra 1 es la que presenta mayor variación en su peso con el paso de los días, ya sea al 0% de cemento o con los demás porcentajes de cemento. La que le siguió es la Tierra 2 y la Tierra 3 fue la que menos variación tuvo.

Al analizar desde las cantidades de cemento en los tipos de suelo, se puede observar que hay más cambio cuando contienen 3% de cemento, para después al aumentar el cemento varíen en menor porcentaje su peso final.

La reacción química entre el cemento y los suelos granulares no plásticos es menos compleja que con los suelos finos y plásticos, en este último caso la reacción del cemento con la arcilla no se puede considerar como la reacción de un cementante con un material inerte; por el contrario, los minerales arcillosos reaccionan y cambian durante el proceso, alterando su estructura interna como sucede en el caso de la Tierra 1 donde el tipo de suelo empleado ahí es el más arcilloso de los 3 y el que más cambio tuvo en relación a los restantes.

Se concluye que al tener más cemento en su estructura el secado va a hacer que el tiempo sea menos y no haya mucha variación en su peso, al mismo tiempo se cita que la menor variación de peso en el tiempo se hará en la tierra que contenga más arena y menos finos como es el caso de la Tierra 3.

5.4. Ensayos mecánicos

5.4.1. Ensayo a la resistencia a compresión en equilibrio

Las mejoras en la resistencia a la compresión pueden, dependiendo del suelo tratado, evolucionar de manera diferente según el contenido de cemento.

Doat, Hays, Houben, Matuk y Vitoux (1990) nos muestran en la figura 5.1 que el aumento en la resistencia puede ser rápido en bajos contenidos para disminuir posteriormente (curva 1); proporcional al contenido de cemento (curva 2) o que para bajos contenidos de cemento se presente disminución de la resistencia (curva 3). Estas variaciones se observan sobre muestras con el mismo tiempo. El aporte de 7 a 8% de cemento produce, cualquiera que sea el caso, una mejora sensible en la resistencia a la compresión.

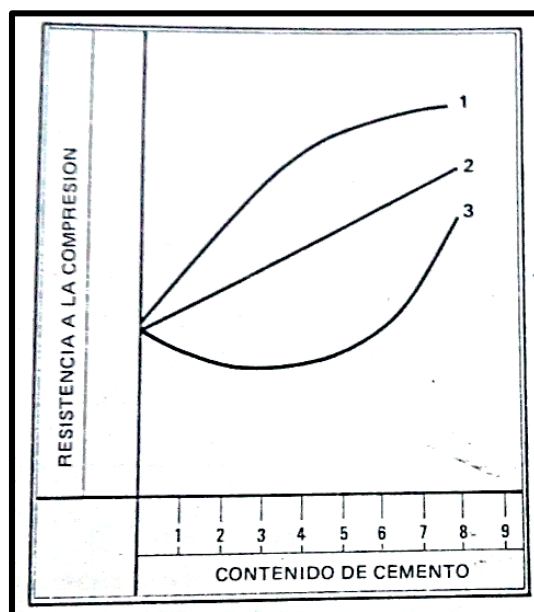


Figura 5.1: Resistencia a la compresión y contenido de cemento para 3 suelos

Fuente: Doat, Hays, Houben, Matuk & Vitoux (1990)

Analizando la Tierra 1, el 0% de cemento logró una resistencia de 25.7 kg/cm², muy por encima del mínimo establecido por la NTE E.080_2006 el cual es de 12 kg/cm² y de su modificación la NTE E.080_2017 de 10.2 kg/cm². Al añadir porcentajes de cemento, sufre una caída en el 3% y 6% para después superar de manera ligera la resistencia sin cemento cuando este llega al 9%. El valor máximo obtenido fue al 12% de cemento, pero se puede decir que el incremento no es tan significativo porque solo aumentó en 3.7 kg/cm² de resistencia en comparación del adobe sin estabilizante.

En la Tierra 2 también se logra superar el mínimo de la NTE E.080_2006 y 2017 al obtener 22.1 kg/cm² de resistencia sin añadir cemento. Posteriormente al agregar 3% de cemento sufre una caída en su resistencia de 49.3% para después ir aumentando y superar el valor inicial sin cemento cuando se le añade un 6% de cemento. El valor máximo obtenido llega al 12% de cemento cuando consigue 38.4 kg/cm² aumentando en un 73.8% la resistencia del adobe sin cemento.

La Tierra 3 supero también el mínimo aceptable por la Norma con una resistencia de 21.4 kg/cm². Como con las demás combinaciones de tierra, al 3% de cemento ésta bajó su resistencia inicial, para después al añadirle 6% de cemento se logre levantar notablemente su resistencia y termine llegando a su valor máximo cuando se le agregó 12% de cemento, el cual fue de 48.2 kg/cm² logrando aumentar en un 125.2% su resistencia sin estabilizante de cemento.

En los ensayos de compresión se ha observado un incremento de la resistencia de los adobes, debido a que el cemento actúa como aglutinante de las partículas de suelo, obteniendo como resultado un bloque más compacto.

Inicialmente, el espacio entre cada partícula sólida es ocupado por agua y burbujas de aire. A medida que transcurre el tiempo el cemento reacciona con el agua de hidratación y los productos de esta reacción comienzan a depositarse sobre los granos y en los espacios que originalmente ocupaban el agua y el aire. Este proceso crea vínculos entre las partículas a la vez que va estrechando los espacios vacíos. Así se produce la rigidización y junto se origina una red de capilares conectados que va refinándose progresivamente llegando incluso a bloquearse.

En las 3 combinaciones la caída de la resistencia sucedió cuando se le añadía poca cantidad de cemento, entre 3% - 5%.

Las reacciones químicas de las mezclas con pequeñas cantidades de cemento, producen un efecto de encapsulamiento de las partículas de arcilla sobre las del cemento, obteniéndose una estructura interna débil, y que sucede según De la Fuente (1995) entre los valores de 3% a 5% de cemento en peso.

Con porcentajes bajos de estabilizante como 3%, en el cual se presenta una disminución, hay agregados que se comportan como partículas gruesas, disminuyendo el grado de compactación por lo tanto el tamaño promedio de los poros aumenta; influenciado en los valores de resistencia a la compresión.

La Tierra 2 y Tierra 3 tuvieron incrementos en sus resistencias a partir del 6% de cemento, mientras que en la Tierra 1 a partir del 9% se vieron mejoras. De las 3 tierras combinadas la que mejor respondió al estabilizarla con cemento fue la tierra 3, esta mezcla contenía mayor arena en su estructura; el cemento con la arena trabajan de mejor manera cuando están en contacto.

El incremento de la resistencia a la compresión con las dosificaciones de cemento adicionadas, se le atribuye a que el cemento actúa como conglomerante de las gravas, arenas y limos. Para dosificaciones mayores, existe una estabilidad entre finos y gruesos, por tanto hay una disminución de la porosidad, por lo que la resistencia a la compresión se ve incrementada.

Hay estudios como el de Siavichay y Narváez (2010) donde a partir del 5% de cemento se ha observado un incremento del 30% de su resistencia. El incremento se debe al efecto que provoca como aglutinante entre las partículas un bloque de adobe más compacto. El cemento incrementa la resistencia a la compresión ya que por efecto químico produce un esqueleto inerte en cada unidad de construcción.

Sin la necesidad de añadir cemento, se observa que la tierra combinada de mejores propiedades es la que tiene igual cantidad de finos y arena en su estructura, esto se debe al índice de plasticidad que tiene permitiendo un mezclado de manera homogénea, mejor compactada; y al porcentaje granulométrico como se pudo observar al comparar estos datos con el antecedente de la investigación de Saroza, Rodríguez, Menéndez y Barroso (2008) donde tomaron como base los suelos mediante la adición de arena, con la característica común de que en todas ellas el contenido de arena sea del 50%, en todos los casos la resistencia a compresión simple de 1,2 MPa (12 kg/cm²). En nuestro caso se supera ampliamente el valor dado que la forma como se trabajó fue un molde y un compactado adecuado de la mezcla dando como resultado un adobe más resistente y compacto.

Según Doat, Hays, Houben, Matuk y Vitoux (1990), tener una buena tierra, o “fabricarla” por correcciones granulométricas y efectuar un moldeado correcto (apisonamiento o moldeado húmedo) son los dos principios indispensables para la correcta realización de una obra con tierras modificadas.

5.4.2. Ensayo a la resistencia a compresión en adobe saturado

El efecto principal de la estabilización con cemento es una neutralización a la acción del agua. Se habrá realizado una buena estabilización si se obtiene un material cuya disminución de la resistencia mecánica permanezca en los límites luego de la inmersión.

Este ensayo solo se le aplicó a los adobes estabilizados con cemento; al 0% de cemento se deshacen al entrar en contacto con el agua.

Claramente las resistencias de los 3 tipos de tierra han disminuido al estar un día bajo el agua y ser ensayadas en su estado saturado.

Al igual que en el ensayo de resistencia a la compresión en condiciones estables, las resistencias van aumentando al mayor porcentaje de cemento en las 3 tierras.

La Tierra 3 presentó mejor respuesta al tener una resistencia de 26.2 kg/cm². Su valor disminuyó de manera significativa pero aun así mantiene una buena resistencia después de encontrarse saturada con agua, así mismo supera el mínimo aceptable por la NTE E.080_2006 y 2017.

Se puede destacar que los adobes al ser sometidos con agua a partir del 6% superan el valor mínimo permisible dado por la Norma.

La resistencia sobre la humedad se debe a que al crear un medio denso se reduce la permeabilidad y se dificulta el ingreso del agua y por tanto se aumenta su resistencia.

Un tratamiento con cemento bien realizado ofrece resultados satisfactorios; la figura 5.2 explica la sensibilidad al agua según el contenido de cemento y el índice de plasticidad. Por ejemplo, de un adobe con suelo de índice de plasticidad de 15, a un 2% de cemento se obtiene una resistencia posterior a la inmersión con agua igual a un octavo de su resistencia en seco o equilibrio.

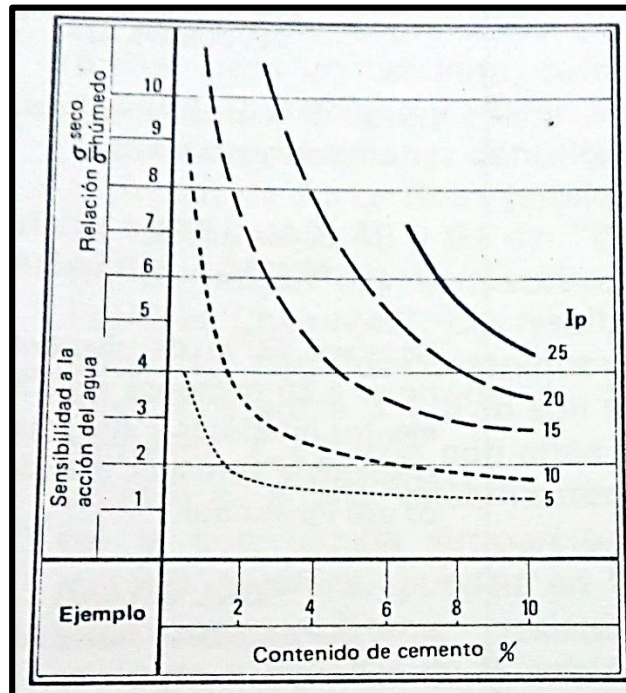


Figura 5.2: Sensibilidad al agua según el contenido de cemento y el índice de plasticidad

Fuente: Doat, Hays, Houben, Matuk & Vitoux (1990)

En nuestra situación la sensibilidad al agua ha sido prácticamente en relación resistencia en equilibrio a resistencia en estado saturado de un medio. La resistencia a compresión en estado saturado de los adobes con contenido de cemento a partir del 6% al 12% no han disminuido ni la mitad de su resistencia al haber estado un día bajo agua.

5.5. Ensayos de durabilidad

En el caso del adobe estabilizado el material estabilizador disminuye el problema técnico fundamental que presenta el adobe simple, esto es, su baja resistencia a la humedad.

El ensayo consistió en ver la pérdida de peso del adobe al encontrarse por una semana bajo el agua.

Como parecía predecible, al 0% de cemento se deshizo totalmente el adobe. Al 3% variaron su forma sobretodo en la Tierra 1, quien tuvo mayor notoriedad a la vista de pérdidas.

La respuesta al paso de una semana es favorable, la pérdida de volumen dejo de ser pérdida porque a partir del 6% de cemento en adelante, todos aumentaron su peso seco final.

Según Doat, Hays, Houben, Matuk y Vitoux (1990), la estabilización con cemento disminuye la importancia de la contracción en el secado y del crecimiento con la humedad (ver figura 5.3). Es así que, con 5% de cemento, la contracción lineal total puede, según la tierra, permanecer inferior al uno por ciento, lo que reduce los riesgos por fisuras. Un contenido de cemento superior no aporta, en general, una disminución suplementaria a la contracción. Así mismo, las tierras estabilizadas con cemento adquieren una buena resistencia a la acción de la alternancia cíclica en contenido de agua (secado-humedad) y a los ciclos de helada-deshielo.

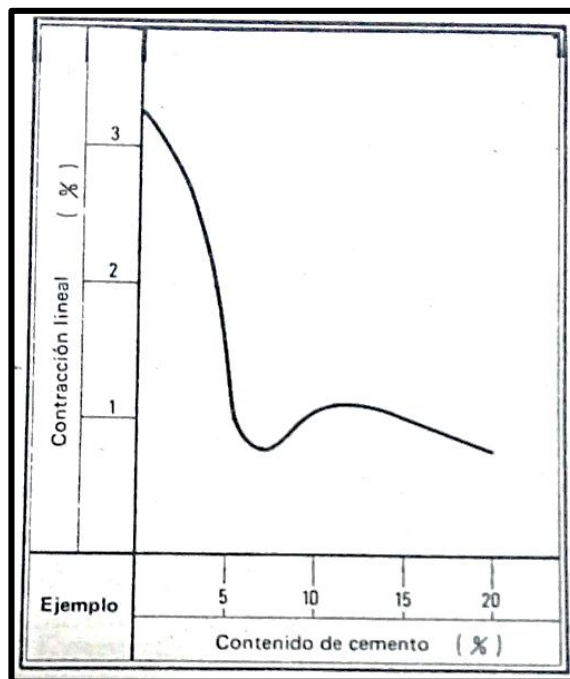


Figura 5.3: Variaciones de la contracción según el contenido de cemento

Fuente: Doat, Hays, Houben, Matuk y Vitoux (1990)

Claramente un adobe estabilizado con cemento responde siempre mejor, pero es recomendable según el análisis el uso a partir del 6% en adelante.

5.6. Relación Costo - Beneficio

En las tablas 5.3 y 5.4 mostradas a continuación se hacen análisis del costo de los adobes y ladrillos artesanales que hay en la zona de Trujillo; y también del costo unitario de los adobes estabilizados propuestos en la tesis.

Tabla 5.3: Precio de los adobes y ladrillos artesanales en Trujillo

Material	Zona	Precio por millar	Precio por unidad
		(S/.)	
Adobe	Moche	160	0.16
	San Isidro	150	0.15
	Av. Villarreal	160	0.16
Ladrillo artesanal	Moche	330	0.33
	San Isidro	330	0.33
	Av. Villarreal	320	0.32

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 5.4: Precio del adobe estabilizado con distintos porcentajes de cemento

% Cemento	Peso (kg)		Precio por unidad (S/.)			Precio por millar (S/.)
	Adobe	Cemento	Cemento	Adobe	Adobe estabilizado	Adobe estabilizado
3	4.5	0.135	0.06	0.16	0.22	220
6	4.5	0.270	0.12	0.16	0.28	280
9	4.5	0.405	0.18	0.16	0.34	340
12	4.5	0.540	0.24	0.16	0.40	400

De acuerdo a los precios observados, los adobes estabilizados recomendados y económicos serían con un porcentaje de 6% y 9% de cemento empleado sobre un tipo de Tierra 2 o 3.

Si lo requerido es aplicar el adobe estabilizado por un tema de durabilidad ante la presencia de agua, se recomienda el estabilizado con 6% de cemento. A este porcentaje también se tendrá un incremento de resistencia frente al de un adobe normal. El precio no llega a superar al de un ladrillo artesanal por lo que se consideraría económico.

Con un 9 % de cemento se observa que el precio es un poco superior al de un ladrillo artesanal; este se recomienda para el caso de que su empleo no sea por un aspecto económico, sino por un tema cultural, social y ecológico.

Al 12% se recomendaría por un tema de querer construir con una mejor seguridad con el sistema de adobe, sabiendo que el precio a pagar es mayor pero tendrá mejor respuesta de resistencia y durabilidad.

Queda totalmente descartado el empleo de un adobe estabilizado con un 3% puesto que la resistencia de este es menor que a un 0% de cemento.

CONCLUSIONES

1. Se evaluó el porcentaje de estabilizante de cemento en adobes sobre su resistencia a compresión y durabilidad, al ser agregado en la mezcla al 0%, 3%, 6%, 9% y 12%; al mismo tiempo el tipo de suelo fue evaluado con los mismos criterios haciendo variaciones en su textura, siendo estas combinaciones la primera, denominada Tierra 1, de 50% de arena y 50% de limos – arcilla; la segunda, Tierra 2, entre 55-70% de arena y entre 30-45% de limos – arcilla y por último la Tierra 3 con 75% de arena y 25% de limos – arcilla.
2. El adobe por conformado manual al ser sometido a compresión axial en equilibrio obtuvo su máxima resistencia a compresión de 48.2 kg/cm² para la Tierra 3 y con una adición al 12% de cemento en su estructura; del mismo modo al someterse a compresión axial en estado de saturación obtuvo su máxima resistencia de 26.2 kg/cm² nuevamente en la Tierra 3 y con 12 % de cemento.
3. Se realizó un estudio del comportamiento físico – mecánico del adobe artesanal constructivo de Trujillo, La Libertad. Se tomaron muestras de 3 adoberas ubicadas en distintos puntos de la ciudad como Moche, San Isidro y la avenida Villarreal. El adobe con mejor resistencia fue el de Moche con 12 kg/cm² llegando a la resistencia mínima deseada por la Norma Técnica de Edificaciones NTE E.080_2006 y 2017 para su uso en construcción; las otras dos adoberas de San Isidro y la avenida Villarreal obtuvieron 6.4 kg/cm² y 11.1 kg/cm² respectivamente, cumpliendo este último solo con el mínimo aceptable por la NTE E.080_2017, siendo influenciado sus bajas resistencias por sus propiedades físicas y por su forma de moldeo artesanal con el que fueron elaborados.
4. Se determinó la estabilidad del adobe en condiciones de saturación en agua de manera estática sin turbulencia ni caída de agua por goteo. Al estar una semana reposando bajo agua, se observó que el adobe sin estabilizante se deshace a las pocas horas sea cual sea el tipo de suelo empleado. Con un 3% de estabilizante el adobe más arcilloso, Tierra 1, fue el que más pérdida de peso tuvo con una variación de 30.3%, los otros dos tuvieron pérdida de 17.2% y 18.1% respectivamente. A partir del 6% no hubieron pérdidas de peso en los tres tipos de tierra, es más, su peso incrementó entre un 0.1 – 2.4%, teniendo buena respuesta sin perder material en situaciones de presencia de agua.
5. El tiempo de secado calculado fue de 27 días en los adobes, esto se logró tomar al calcular los pesos de los adobes diariamente, asumiendo que cuando la variación entre pesos dejaba de aumentar, estos terminaban su proceso de secado y estaban aptos para

su uso. El tiempo de 27 días es el mismo para los tres tipos de suelo empleados, habiendo mayor variación de peso en el tipo de Tierra 1. La variación de sus pesos al 3% de cemento aumentaba en relación al 0% para seguidamente ir disminuyendo al aumentar el porcentaje de cemento; al 12 % de cemento es cuando menos variación de pesos tenía a los 27 días.

6. Al comparar los diferentes diseños de mezcla, se concluye que el más rentable será el adobe sin adición de cemento que contenga mayor resistencia; en este caso sería el adobe elaborado con la Tierra 1 (50% de arena - 50% de limos y arcilla) que logró un valor de 25.7 kg/cm² superando el mínimo de 12 kg/cm² establecido por la NTE E.080_2006 y el 10.2 kg/cm² de la NTE E.080_2017. Se le considera el más rentable dado que cumple en incrementar la resistencia del adobe, aumentando notoriamente sin agregar cemento. Su respuesta ante la presencia de agua no será como un adobe estabilizado, pero dado los parámetros de diseño en construcción propuesto por la NTE E.080_2017, estos van sobre un sobrecimiento, protegiéndose así del contacto directo con agua. De esta manera se consigue un adobe más económico que uno estabilizado como se observó en su precio. Es importante resaltar que la mejor resistencia se obtuvo con un 12% de cemento con una Tierra 3 (75% de arena - 25% de limos y arcilla). También al 6% y 9% se obtiene mejoras en su resistencia y durabilidad ante la presencia de agua para tipo de Tierra 2 y 3; pero como se observó, el añadirle cemento al adobe incrementara su costo ligeramente, sin embargo, queda a criterio de cada persona porque siempre un material de mayor resistencia y calidad en el mercado se encuentra a un costo por encima de uno con valores aceptables pero no los mejores.

RECOMENDACIONES

1. Se debe analizar estos tipos de suelos empleados en la investigación con los porcentajes de cemento pero variando su forma de moldeo, se debe investigar su respuesta al ser elaborados como un bloque de tierra compactado, su compactación le dará mejores respuestas mecánicas.
2. La respuesta del adobe a situaciones de agua se debería analizar en situaciones más agresivas como simulando la caída de lluvia o bajo turbulencia y corrientes de agua que entren en contacto directo.
3. Se debe evaluar la resistencia mecánica por pila y por murete al adobe estabilizado, para que de esa manera se observe su comportamiento como muro. De la misma manera, se debe considerar la dosificación y elaboración del mortero empleado para la unión de estos.
4. La elaboración del adobe debe ser más controlada, como se ha visto en la investigación, un buen moldeo asegura una mejor respuesta en su resistencia mecánica.

REFERENCIAS

- Aguilar, S. (1988). *Métodos de análisis de suelos*. México: SMCS
- Aguirre, C. & Aguilar, T. (2006). *Influencia del tipo y porcentaje de material estabilizante, sobre la resistencia a la compresión y densidad en ladrillos ecológicos de construcción*. (Tesis de título Profesional de Ingeniería de materiales). Universidad Nacional de Trujillo, La Libertad, Perú.
- Arbocó, H. (2012). Experiencias sobre la utilización de materiales locales en la Construcción de Sistemas Constructivos No Convencionales –Scnc. *En revista Ingeniería Civil*, pp.3-7.
- Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica (2004). *Manual para la Rehabilitación de Viviendas Construidas en Adobe y Tapia Pisada*.
- Barrios, G., Álvarez, L., Arcos, H., Marchant, E. & Rosi, D. (1987). Comportamiento de los suelos para la confección de adobes. *En revista Informes de la construcción*, 37 (377) pp. 43.
- Bestraten, S., Hormías E. & Altemir, A. (2010). Construcción con tierra en el siglo XXI. *En revista Informes de la Construcción*, 63 (523) pp.5-20.
- Blondet, M. (2010). *La casa de ladrillos*. [En línea] Recuperado el 25 de mayo de 2016, de <http://tunza.mobi/es/articulos/la-casa-de-ladrillos/>
- Blondet, M., Vargas, J., Tarque, N. & Iwaki, C. (2011) Construcción sismorresistente en tierra: la gran experiencia contemporánea de la Pontificia Universidad Católica del Perú. *En revista Informes de la Construcción*, 63 (523) pp.41-50.
- Carcedo, M. (2012). *Resistencia a compresión de bloques de tierra comprimida estabilizada con materiales de sílice de diferente tamaño de partícula*. (Trabajo de fin de Máster). Universidad Politécnica de Madrid, Madrid, España.
- Cid, J.J, (2012). *Durabilidad de los bloques de tierra comprimida. Evaluación y recomendaciones para la normalización de los ensayos de erosión y absorción*. (Tesis doctoral). Universidad Politécnica de Madrid, Madrid, España.
- Cid, J. & Cañas, I. (2009). *Construcción con Tierra: Materias Primas*. Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos Universidad Politécnica de Madrid, Madrid, España.
- Cid, J., Mazarrón, F. & Cañas, I. (2011). Las normativas de construcción con tierra en el mundo. *En revista Informes de la Construcción*, 63 (523) pp.159-169.
- De la Fuente, E. (1995). *Suelo-cemento, usos propiedades y aplicaciones*. México: IMCYC.
- Doat, P., Hays, A., Houben, H., Matuk, S. & Vitoux, F. (1990). *Construir con tierra Tomo II*. Bogotá, Colombia: Fondo Rotatorio.
- Ducman, V. & Kopar, T. (2004). Potential use of waste stone mud in the clay based industry. *En revista Industrial Ceramics* 24 (1) pp. 8-12.

- Etchebarne, R., Piñeiro G. & Silva J. (2005). *Montaje de Prototipos de Vivienda a través de la Utilización de Tecnologías en Tierra: Adobe, Fajina y BTC*. Unidad Regional de Estudios y Gestión del Hábitat, Uruguay.
- Guinea, M. (1987). *La tierra, material resistente al agua* (Monografía No. 385/386). Instituto Eduardo Torroja, Madrid, España.
- Kosmatka H. (2004). *Diseño y control de mezclas de concreto*. EU: Portland Cement Association.
- López, G.A. & Bernilla, P.J. (2012). *Evaluación funcional y constructiva de viviendas con adobe estabilizado en Cayalti. programa COBE -1976*. (Tesis de Maestría en Tecnología de la Construcción). Universidad Nacional de Ingeniería, Lima, Perú.
- Morales V., Ortiz M. & Alavéz R. (2007). Mejoramiento de las propiedades mecánicas del adobe compactado. *En revista Naturaleza y Desarrollo 5 (1) pp.41-48*.
- Ríos, E. (2010). *Efecto de la adición de látex natural y jabón en la resistencia mecánica y absorción del adobe compactado*. (Tesis de Maestría en Ciencias). Instituto Politécnico Nacional, Oaxaca de Juárez, México.
- Rodríguez, M. (2003). *Aplicación Tecnológica del Adobe Estabilizado*. Universidad de Oviedo & Universidad Central de las Villas, España-Cuba.
- Saroza, B., Rodríguez, M., Menéndez, J. & Barroso, I. (2008). Estudio de la resistencia a compresión simple del adobe elaborado con suelos procedentes de Crescencio Valdés, Villa Clara, Cuba. *En revista Informes de la construcción*, 60 (511) pp. 41-47.
- Siavichay, D. & Narváez, J. (2010). *Propuesta de mejoramiento de las características técnicas del Adobe para la aplicación en viviendas unifamiliares emplazadas en el área periurbana de la ciudad de Cuenca*. Cuenca.
- Tejada, U. (octubre 1993). *Técnicas de preparación y estabilización del adobe*. V Curso Internacional sobre edificaciones de Bajo Costo en zonas sísmicas, CISMID y Universidad Nacional de Ingeniería. Perú.

ANEXOS

ANEXO N°1. Guía de observación de las adoberas en Trujillo

Tabla 6.1: Condiciones de la venta de adobes en Trujillo

NOMBRE	ADOBERA S/N	ADOBERA S/N	ADOBERA S/N
UBICACIÓN	CAMPIÑA DE MOCHE	URB. SAN ISIDRO II ETAPA	AV. VILLARREAL
CARACTERÍSTICA	OBSERVACIÓN		
TIPO DE ADOBERA	Artesanal	Artesanal	Artesanal
PRODUCCIÓN	20 millares c/15 días.	15 millares c/15 días.	20 millares c/15 días.

Fuente: Elaboración Propia

ANEXO N°2. Análisis físicos - mecánicos de adobes artesanales

Tabla 6.2: Contenido de humedad de adobes artesanales

Ubicación	Moche			San Isidro			Avenida Villarreal		
Muestra	M-1	M-2	M-3	SI-1	SI-2	SI-3	V-1	V-2	V-3
P. lata + m. húmeda (gr)	144.5	143.0	137.8	173.6	165.0	155.0	137.1	145.9	154.5
P. lata + m. seca (gr)	142.2	141.1	135.7	172.3	163.6	153.7	135.6	144.4	152.9
P. lata (gr)	68.8	70.3	66.8	92.3	73.7	66.5	66.2	74.3	81.9
M. húmeda (gr)	75.7	72.7	71.0	81.3	91.3	88.5	70.9	71.6	72.6
M. seca (gr)	73.4	70.8	68.9	80.0	89.9	87.2	69.4	70.1	71.0
Peso Agua (gr)	2.3	1.9	2.1	1.3	1.4	1.3	1.5	1.5	1.6
%W, humedad	3.1	2.7	3.0	1.6	1.6	1.5	2.2	2.1	2.3
Promedio (%)	2.9			1.6			2.2		

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 6.3: Análisis granulométrico del adobe artesanal de Moche

Tamiz n°	Abertura (mm)	Peso tamiz (gr)	Peso tamiz + muestra (gr)	Peso retenido (gr)	% Peso retenido	% Peso ret. Acum.	% Pasa
N° 2"	50	538.98	538.98	0.00	0.00	0.00	100
N° 1 1/2"	38.5	553.52	553.52	0.00	0.00	0.00	100
N° 1"	25	546.77	546.77	0.00	0.00	0.00	100
N° 3/4"	19	558.88	558.88	0.00	0.00	0.00	100
N° 1/2"	12.5	543.26	543.26	0.00	0.00	0.00	100
N° 3/8"	9.5	544.8	544.80	0.00	0.00	0.00	100
N° 4	4.75	508.78	509.82	1.04	0.21	0.21	100
N° 8	2.36	490.25	493.03	2.78	0.56	0.76	99
N°16	1.18	411.32	419.29	7.97	1.59	2.36	98
N°30	0.60	402.62	416.95	14.33	2.86	5.22	95
N°50	0.30	370.32	396.02	25.70	5.14	10.36	90
N°100	0.15	345.57	483.38	137.81	27.55	37.91	62
N°200	0.075	300.31	384.04	83.73	16.74	54.65	45
CIEGA	< 0,075	368.12	369.43	226.85	45.35	100.00	0

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 6.4: Análisis granulométrico del adobe artesanal de San Isidro

Tamiz nº	Abertura (mm)	Peso tamiz (gr)	Peso tamiz + muestra (gr)	Peso retenido (gr)	% Peso retenido	% Peso ret. Acum.	% Pasa
Nº 2"	50	538.98	538.98	0.00	0.00	0.00	100
Nº 1 1/2"	38.5	553.52	553.52	0.00	0.00	0.00	100
Nº 1"	25	546.77	546.77	0.00	0.00	0.00	100
Nº 3/4"	19	558.88	558.88	0.00	0.00	0.00	100
Nº 1/2"	12.5	543.26	543.26	0.00	0.00	0.00	100
Nº 3/8"	9.5	544.8	567.38	22.58	4.51	4.51	95
Nº 4	4.75	508.78	524.26	15.48	3.10	7.61	92
Nº 8	2.36	490.25	499.61	9.36	1.87	9.48	91
Nº16	1.18	411.32	419.32	8.00	1.60	11.08	89
Nº30	0.60	402.62	416.25	13.63	2.73	13.81	86
Nº50	0.30	370.32	398.39	28.07	5.61	19.42	81
Nº100	0.15	345.57	539.29	193.72	38.73	58.15	42
Nº200	0.075	300.31	383.86	83.55	16.71	74.86	25
CIEGA	< 0,075	368.12	369.13	125.75	25.14	100.00	0

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 6.5: Análisis granulométrico del adobe artesanal de Av. Villarreal

Tamiz nº	Abertura (mm)	Peso tamiz (gr)	Peso tamiz + muestra (gr)	Peso retenido (gr)	% Peso retenido	% Peso ret. Acum.	% Pasa
Nº 2"	50	538.98	538.98	0.00	0.00	0.00	100
Nº 1 1/2"	38.5	553.52	553.52	0.00	0.00	0.00	100
Nº 1"	25	546.77	546.77	0.00	0.00	0.00	100
Nº 3/4"	19	558.88	558.88	0.00	0.00	0.00	100
Nº 1/2"	12.5	543.26	543.26	0.00	0.00	0.00	100
Nº 3/8"	9.5	544.80	550.11	5.31	1.06	1.06	99
Nº 4	4.75	508.78	510.65	1.87	0.37	1.44	99
Nº 8	2.36	490.25	493.60	3.35	0.67	2.10	98
Nº16	1.18	411.32	420.30	8.98	1.80	3.90	96
Nº30	0.60	402.62	416.05	13.43	2.68	6.58	93
Nº50	0.30	370.32	395.61	25.29	5.06	11.64	88
Nº100	0.15	345.57	534.27	188.70	37.72	49.36	51
Nº200	0.075	300.31	388.30	87.99	17.59	66.95	33
CIEGA	< 0,075	368.12	368.94	165.32	33.05	100.00	0

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 6.6: Límite Líquido en adobes artesanales

Ubicación	Moche			San Isidro			Av. Villarreal		
Nº de lata	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Peso de suelo húmedo + lata (gr)	24.23	35.20	34.16	-	-	-	21.42	32.54	32.28
Peso de suelo seco + lata (gr)	22.43	33.54	32.80	-	-	-	20.26	31.57	31.41
Peso de lata (gr)	15.90	27.32	27.38	-	-	-	15.94	27.33	27.38
Peso de suelo seco (gr)	6.53	6.22	5.42				4.32	4.24	4.03
Peso de agua (gr)	1.80	1.66	1.36				1.16	0.97	0.87
Contenido de Humedad (%)	27.57	26.69	25.09	NP	NP	NP	26.85	22.88	21.59
Nº de golpes	17	20	36	NP	NP	NP	15	26	30
Límite Líquido (%)	26.2			NP			23.1		

Fuente: Elaboración Propia

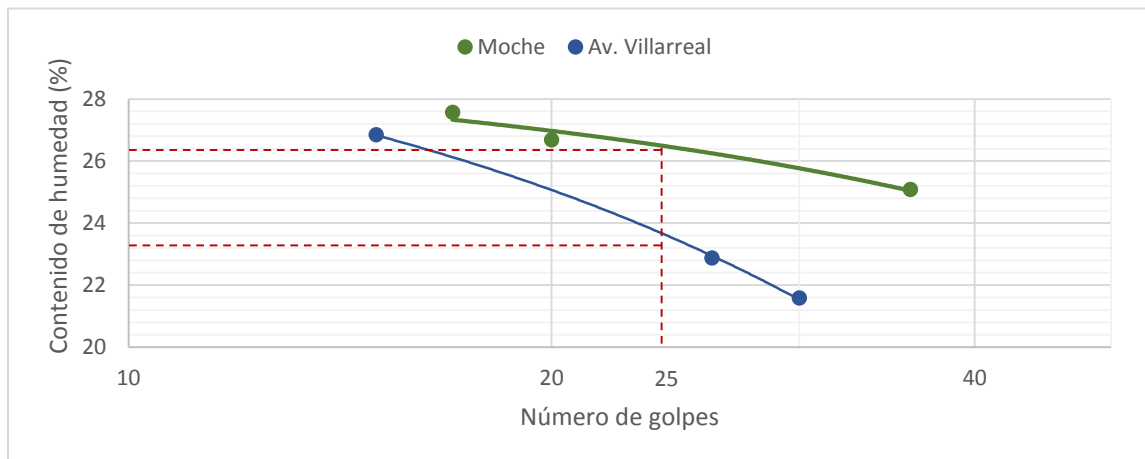


Figura 6.1: Curva de fluidez de adobes artesanales

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 6.7: Límite plástico e índice de plasticidad en adobes artesanales

Ubicación	Moche			San Isidro			Av. Villarreal		
Nº de lata	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Peso de suelo húmedo + lata (gr)	26.68	24.35	23.67	-	-	-	27.55	22.32	24.31
Peso de suelo seco + lata (gr)	26.66	24.32	23.62	-	-	-	27.42	22.24	24.15
Peso de lata (gr)	26.45	24.03	23.19	-	-	-	26.46	21.71	23.19
Peso de suelo seco (gr)	0.21	0.29	0.43				0.96	0.53	0.96
Peso de agua (gr)	0.02	0.03	0.05				0.13	0.08	0.16
Contenido de Humedad (%)	9.52	10.34	11.63	NP	NP	NP	13.54	15.09	16.67
Límite plástico (%)	10.5			NP			15.1		
Índice de plasticidad (%)	15.7			NP			8.0		

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 6.8: Medidas de tres tipos de adobes artesanales

Ubicación	Número de muestras	Largo (cm)		Ancho (cm)		Altura (cm)	
		L1	L2	A1	A2	H1	H2
Moche	M1	21.40	21.70	11.60	12.30	8.30	8.40
	M2	21.50	21.40	11.60	12.50	8.50	8.30
	M3	21.50	21.90	11.90	12.40	8.30	8.20
	M4	21.60	21.60	11.90	12.50	8.30	8.50
	M5	21.50	21.60	11.70	12.30	8.40	8.40
	Promedio	21.50	21.60	11.70	12.40	8.40	8.40
	Promedio dimensiones	21.60		12.10		8.40	
San Isidro	SI1	21.30	21.70	12.20	13.20	8.50	8.70
	SI2	21.30	22.30	11.90	13.10	8.60	8.90
	SI3	21.40	22.30	12.40	13.00	8.20	9.30
	SI4	21.40	21.50	12.20	13.10	8.90	8.70
	SI5	21.40	21.70	12.50	13.10	9.00	9.10
	Promedio	21.40	21.90	12.20	13.10	8.60	8.90
	Promedio dimensiones	21.70		12.70		8.80	
Av. Villarreal	V1	21.40	21.60	12.10	12.50	8.70	8.50
	V2	21.50	21.40	12.30	12.80	8.90	8.60
	V3	21.20	21.40	12.10	12.50	8.50	8.50
	V4	21.30	21.30	12.20	12.50	8.60	8.50
	V5	21.20	21.30	12.10	12.60	8.60	8.50
	Promedio	21.30	21.40	12.20	12.60	8.70	8.50
	Promedio dimensiones	21.40		12.40		8.60	

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 6.9: Resistencia a la compresión de 3 tipos de adobes artesanales

Ubicación de adobe	Muestra	Largo (mm)		Ancho (mm)		Promedio (mm)		Área (mm ²)	Fuerza (KN)	Resistencia (Kg/cm ²)
		L1	L2	A1	A2	L	A			
Moche	M2	215.0	214.0	116.0	125.0	214.5	120.5	25,847.3	32.3	12.70
	M3	215.0	219.0	119.0	124.0	217.0	121.5	26,365.5	28.1	10.90
	M4	216.0	216.0	118.5	125.0	216.0	121.8	26,308.8	31.8	12.30
	Promedio	215.8		121.3		215.8	121.3	26,173.9	30.7	12.0
San Isidro	SI1	213.0	216.7	122.0	132.0	214.9	127.0	27,292.3	17.6	6.60
	SI3	214.0	223.0	124.0	130.0	218.5	127.0	27,749.5	21.5	7.90
	SI4	213.5	214.5	122.0	131.0	214.0	126.5	27,071.0	12.1	4.60
	Promedio	215.8		126.8		215.8	126.8	27,370.9	17.1	6.4
Av. Villarreal	V2	215.0	214.0	123.0	128.0	214.5	125.5	26,919.8	25.1	9.50
	V3	212.0	214.0	121.0	125.0	213.0	123.0	26,199.0	31.1	12.10
	V4	213.0	213.0	122.0	125.0	213.0	123.5	26,305.5	30.3	11.70
	Promedio	213.5		124.0		213.5	124.0	26,474.8	28.8	11.1

Fuente: Elaboración Propia

ANEXO N°3. Características físicas de la tierra

Tabla 6.10: Contenido de Humedad – Tierra

Muestra	M-1	M-2	M-3
P. lata + m. húmeda (gr)	119.0	134.1	129.7
P. lata + m. seca (gr)	116.4	130.8	126.7
P. lata (gr)	66.3	70.2	66.8
M. húmeda (gr)	52.7	63.9	62.9
M. seca (gr)	50.1	60.6	59.9
Peso Agua (gr)	2.6	3.3	3.0
%W, humedad	5.2	5.4	5.0
Promedio (%)	5.2		

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 6.11: Análisis granulométrico de la tierra muestra 1

Tamiz nº	Abertura (mm)	Peso tamiz (gr)	Peso tamiz + muestra (gr)	Peso retenido (gr)	% Peso retenido	% Peso ret. acumulado	% Pasa
Nº 2"	50	538.98	538.98	0.00	0.00	0.00	100
Nº 1 1/2"	38.5	553.52	553.52	0.00	0.00	0.00	100
Nº 1"	25	546.77	546.77	0.00	0.00	0.00	100
Nº 3/4"	19	558.88	558.88	0.00	0.00	0.00	100
Nº 1/2"	12.5	543.26	543.26	0.00	0.00	0.00	100
Nº 3/8"	9.5	545.7	545.70	0.00	0.00	0.00	100
Nº 4	4.75	508.78	510.80	2.02	0.40	0.40	100
Nº 8	2.36	490.25	493.17	2.92	0.58	0.99	99
Nº16	1.18	411.32	419.15	7.83	1.56	2.55	97
Nº30	0.60	402.62	419.66	17.04	3.40	5.95	94
Nº50	0.30	370.32	392.32	22.00	4.39	10.35	90
Nº100	0.15	345.57	394.48	48.91	9.77	20.12	80
Nº200	0.075	300.31	353.82	53.51	10.69	30.81	69
CIEGA	< 0,075	368.12	369.88	346.42	69.19	100.00	0

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 6.12: Análisis granulométrico de la tierra muestra 2

Tamiz nº	Abertura (mm)	Peso tamiz (gr)	Peso tamiz + muestra (gr)	Peso retenido (gr)	% Peso retenido	% Peso ret. acumulado	% Pasa
Nº 2"	50	538.98	538.98	0.00	0.00	0.00	100
Nº 1 1/2"	38.5	553.52	553.52	0.00	0.00	0.00	100
Nº 1"	25	546.77	546.77	0.00	0.00	0.00	100
Nº 3/4"	19	558.88	558.88	0.00	0.00	0.00	100
Nº 1/2"	12.5	543.26	543.26	0.00	0.00	0.00	100
Nº 3/8"	9.5	545.7	545.70	0.00	0.00	0.00	100
Nº 4	4.75	508.78	510.12	1.34	0.27	0.27	100
Nº 8	2.36	490.25	492.45	2.20	0.44	0.71	99
Nº16	1.18	411.32	419.09	7.77	1.55	2.26	98
Nº30	0.60	402.62	420.01	17.39	3.48	5.74	94
Nº50	0.30	370.32	392.60	22.28	4.45	10.19	90
Nº100	0.15	345.57	396.13	50.56	10.11	20.30	80
Nº200	0.075	300.31	354.57	54.26	10.85	31.15	69
CIEGA	< 0,075	368.12	368.84	344.36	68.85	100.00	0

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 6.13: Análisis granulométrico de la tierra muestra 3

Tamiz nº	Abertura (mm)	Peso tamiz (gr)	Peso tamiz + muestra (gr)	Peso retenido (gr)	% Peso retenido	% Peso ret. acumulado	% Pasa
Nº 2"	50	538.98	538.98	0.00	0.00	0.00	100
Nº 1 1/2"	38.5	553.52	553.52	0.00	0.00	0.00	100
Nº 1"	25	546.77	546.77	0.00	0.00	0.00	100
Nº 3/4"	19	558.88	558.88	0.00	0.00	0.00	100
Nº 1/2"	12.5	543.26	543.26	0.00	0.00	0.00	100
Nº 3/8"	9.5	545.7	545.70	0.00	0.00	0.00	100
Nº 4	4.75	508.78	509.45	0.67	0.13	0.13	100
Nº 8	2.36	490.25	493.25	3.00	0.60	0.73	99
Nº16	1.18	411.32	419.28	7.96	1.59	2.32	98
Nº30	0.60	402.62	419.04	16.42	3.28	5.60	94
Nº50	0.30	370.32	391.25	20.93	4.18	9.79	90
Nº100	0.15	345.57	393.93	48.36	9.66	19.45	81
Nº200	0.075	300.31	352.49	52.18	10.42	29.87	70
CIEGA	< 0,075	368.12	368.76	351.02	70.13	100.00	0

Fuente: Elaboración Propia

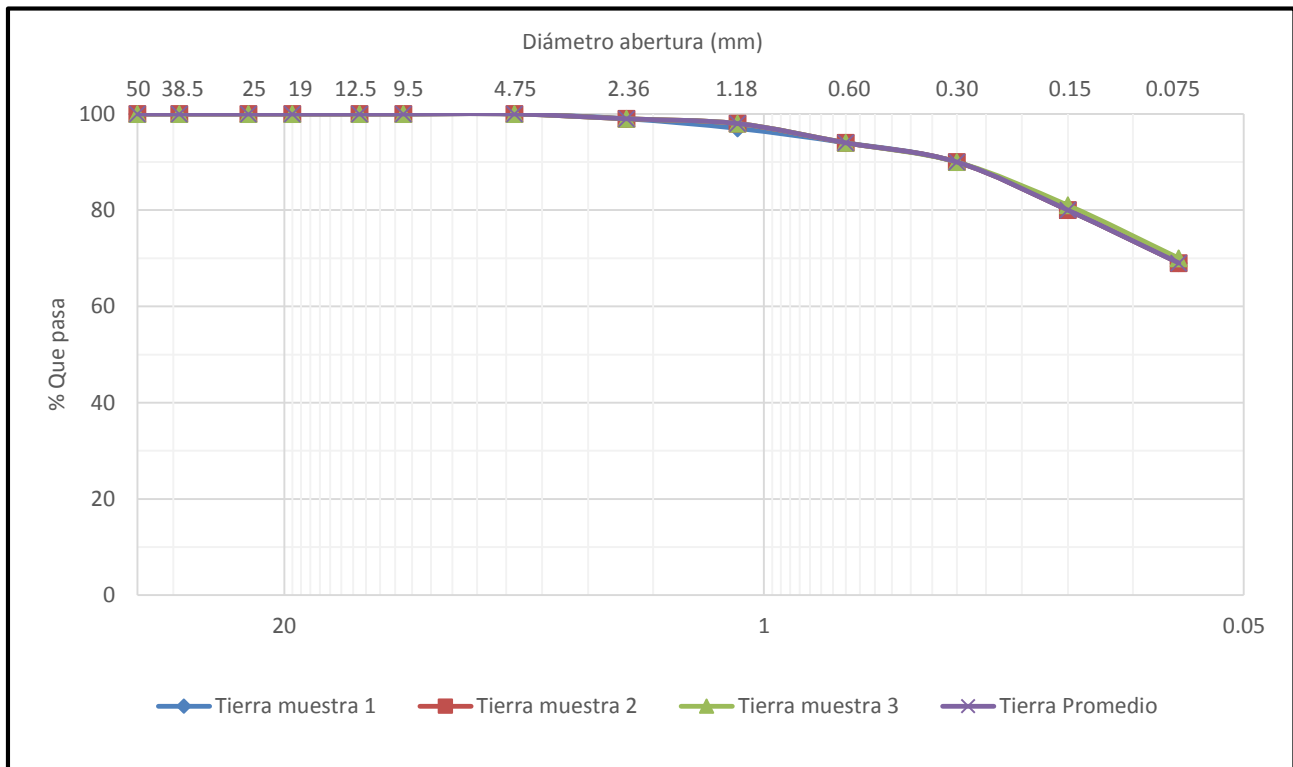


Figura 6.2: Curvas granulométricas de la tierra

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 6.14: Composición de las muestras de la tierra

Comp. de la Muestra	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3
% Grava gruesa : de 80 a 40 mm (de 3" a 1 ½")	0	0	0
% Grava Fina : de 40 a 20 mm (1 ½" a ¾")	0	0	0
% Gravilla : de 20 a 10 mm (¾" a 3/8")	0	0	0
% Grava arena : de 10 a 5 mm (3/8" a N° 4)	0	0	0
% Arena gruesa : de 5 a 2 mm (N° 4 a N° 10)	1	0	1
% Arena media : de 2 a 0,50 mm (N° 10 a N° 40)	5	6	5
% Arena fina : de 0,50 a 0,080 (N° 40 a N° 200)	25	25	24
% Limo - arcilloso:	69	69	70
Total	100	100	100

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 6.15: Límite Líquido de la tierra

Nº de lata	1	2	3
Peso de suelo húmedo + lata (gr)	78.28	65.09	86.43
Peso de suelo seco + lata (gr)	77.49	64.24	85.56
Peso de lata (gr)	75.02	61.58	82.81
Peso de suelo seco (gr)	2.47	2.66	2.75
Peso de agua (gr)	0.79	0.85	0.87
Contenido de Humedad (%)	31.98	31.95	31.64
Nº de golpes	20	24	39
Límite líquido (%)	31.9		

Fuente: Elaboración Propia

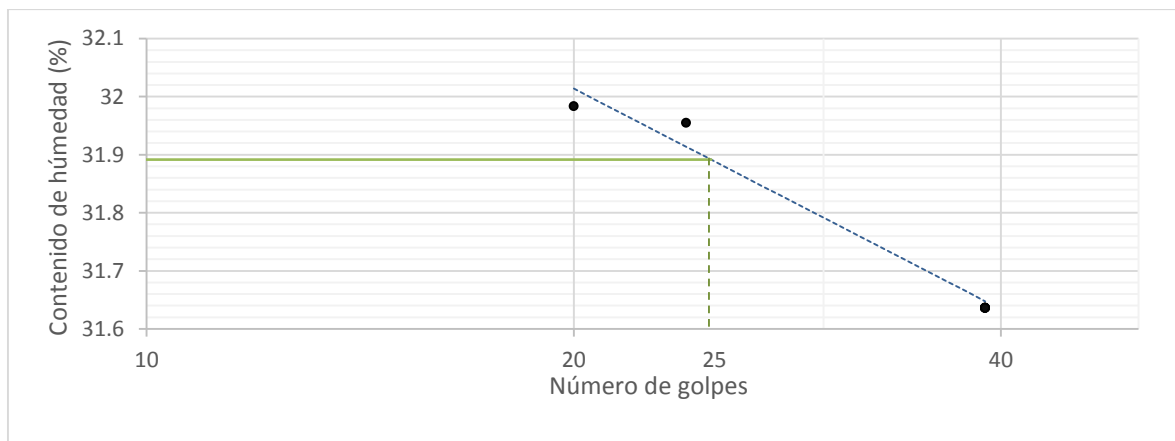


Figura 6.3: Curva de fluidez de la tierra

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 6.16: Límite plástico de la tierra

Nº de lata	1	2	3
Peso de suelo húmedo + lata (gr):	93.52	71.58	82.56
Peso de suelo seco + lata (gr):	93.39	71.44	82.41
Peso de lata (gr):	92.23	70.14	81.05
Peso de suelo seco (gr):	1.16	1.30	1.36
Peso de agua (gr):	0.13	0.14	0.15
Contenido de Humedad (%):	11.21	10.77	11.03
Límite plástico (%)	11.0		

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 6.17: Índice de plasticidad de la tierra

Límite líquido (%)	31.9
Límite plástico (%)	11.0
Índice de plasticidad (%)	20.9

Fuente: Elaboración Propia

ANEXO N°4. Características físicas de la arena

Tabla 6.18: Análisis granulométrico de la arena muestra 1

Tamiz nº	Abertura (mm)	Peso tamiz (gr)	Peso tamiz + muestra (gr)	Peso retenido (gr)	% Peso retenido	% Peso ret. acumulado	% Pasa
Nº 2"	50	538.98	538.98	0.00	0.00	0.00	100
Nº 1 1/2"	38.5	553.52	553.52	0.00	0.00	0.00	100
Nº 1"	25	546.77	546.77	0.00	0.00	0.00	100
Nº 3/4"	19	558.88	558.88	0.00	0.00	0.00	100
Nº 1/2"	12.5	543.26	543.26	0.00	0.00	0.00	100
Nº 3/8"	9.5	545.7	545.70	0.00	0.00	0.00	100
Nº 4	4.75	500.02	514.34	14.32	2.86	2.86	97
Nº 8	2.36	454.82	510.44	55.62	11.12	13.98	86
Nº16	1.18	406.91	490.85	83.94	16.78	30.76	69
Nº30	0.60	376.05	443.47	67.42	13.48	44.24	56
Nº50	0.30	343.57	405.89	62.32	12.46	56.70	43
Nº100	0.15	329.21	489.19	159.98	31.98	88.69	11
Nº200	0.075	319.2	363.03	43.83	8.76	97.45	3
CIEGA	< 0,075	506.82	519.57	12.75	2.55	100.00	0
					MF	2.37	

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 6.19: Análisis granulométrico de la arena muestra 2

Tamiz nº	Abertura (mm)	Peso tamiz (gr)	Peso tamiz + muestra (gr)	Peso retenido (gr)	% Peso retenido	% Peso ret. acumulado	% Pasa
Nº 2"	50	538.98	538.98	0.00	0.00	0.00	100
Nº 1 1/2"	38.5	553.52	553.52	0.00	0.00	0.00	100
Nº 1"	25	546.77	546.77	0.00	0.00	0.00	100
Nº 3/4"	19	558.88	558.88	0.00	0.00	0.00	100
Nº 1/2"	12.5	543.26	543.26	0.00	0.00	0.00	100
Nº 3/8"	9.5	545.7	545.70	0.00	0.00	0.00	100
Nº 4	4.75	500.02	515.81	15.79	3.16	3.16	97
Nº 8	2.36	454.82	505.69	50.87	10.17	13.33	87
Nº16	1.18	406.91	483.72	76.81	15.36	28.69	71
Nº30	0.60	376.05	442.37	66.32	13.26	41.95	58
Nº50	0.30	343.57	404.80	61.23	12.24	54.19	46
Nº100	0.15	329.21	494.00	164.79	32.95	87.14	13
Nº200	0.075	319.2	368.98	49.78	9.95	97.09	3
CIEGA	< 0,075	506.82	521.38	14.56	2.91	100.00	0
					MF	2.28	

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 6.20: Análisis granulométrico de la arena muestra 3

Tamiz nº	Abertura (mm)	Peso tamiz (gr)	Peso tamiz + muestra (gr)	Peso retenido (gr)	% Peso retenido	% Peso ret. acumulado	% Pasa
Nº 2"	50	538.98	538.98	0.00	0.00	0.00	100
Nº 1 1/2"	38.5	553.52	553.52	0.00	0.00	0.00	100
Nº 1"	25	546.77	546.77	0.00	0.00	0.00	100
Nº 3/4"	19	558.88	558.88	0.00	0.00	0.00	100
Nº 1/2"	12.5	543.26	543.26	0.00	0.00	0.00	100
Nº 3/8"	9.5	545.7	545.70	0.00	0.00	0.00	100
Nº 4	4.75	500.02	515.39	15.37	3.07	3.07	97
Nº 8	2.36	454.82	500.73	45.91	9.17	12.24	88
Nº16	1.18	406.91	488.88	81.97	16.38	28.62	71
Nº30	0.60	376.05	446.15	70.10	14.00	42.62	57
Nº50	0.30	343.57	407.33	63.76	12.74	55.36	45
Nº100	0.15	329.21	494.01	164.80	32.92	88.29	12
Nº200	0.075	319.2	365.52	46.32	9.25	97.54	2
CIEGA	<0,075	506.82	519.13	12.31	2.46	100.00	0
					MF	2.30	

Fuente: Elaboración Propia

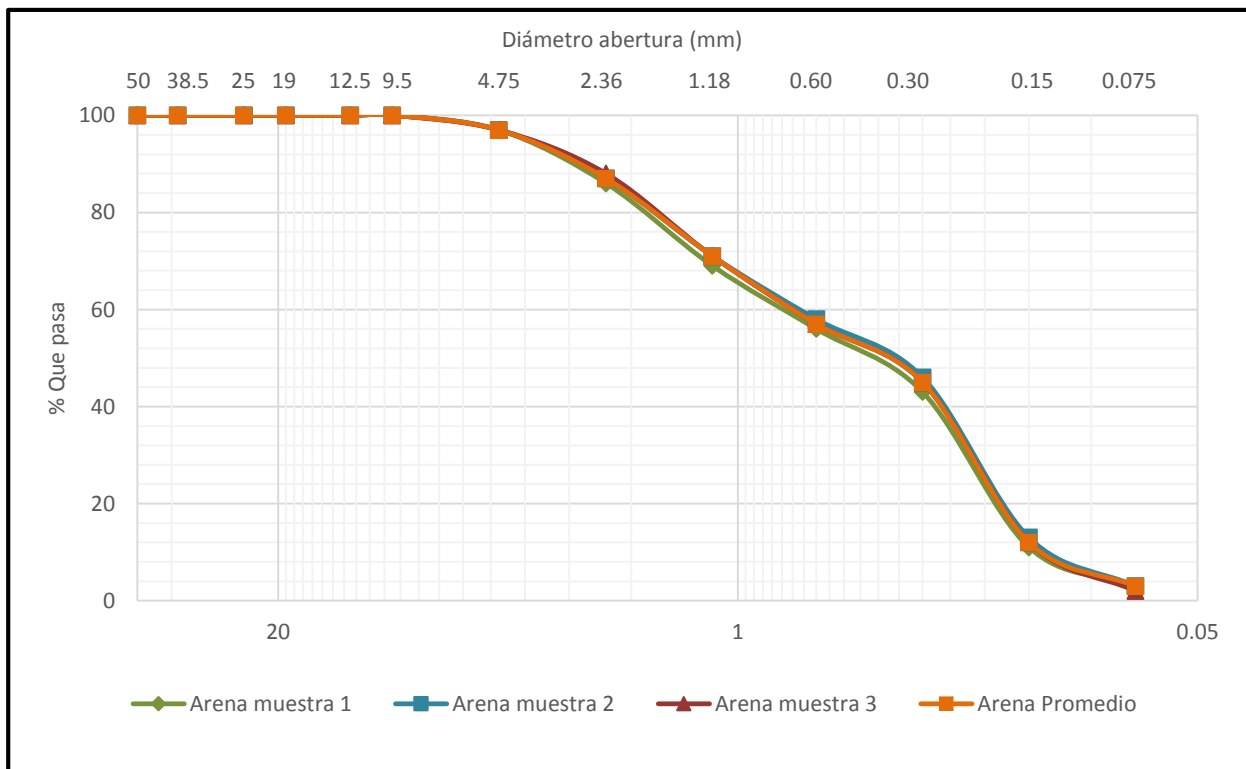


Figura 6.4: Curvas granulométricas de la arena

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 6.21: Composición de las muestras de la arena

Comp. de la Muestra	Muestra 1		Muestra 2		Muestra 3	
% Grava gruesa : de 80 a 40 mm (de 3" a 1 ½")	0	3	0	3	0	3
% Grava Fina : de 40 a 20 mm (1 ½" a ¾")	0		0		0	
% Gravilla : de 20 a 10 mm (¾" a 3/8")	0		0		0	
% Grava arena : de 10 a 5 mm (3/8" a Nº 4)	3		3		3	
% Arena gruesa : de 5 a 2 mm (Nº 4 a Nº 10)	11	94	10	94	9	95
% Arena media : de 2 a 0,50 mm (Nº 10 a Nº 40)	30		29		31	
% Arena fina : de 0,50 a 0,080 (Nº 40 a Nº 200)	53		55		55	
% Limo - arcilloso:	3	3	3	3	2	2
Total	100	100	100	100	100	100

Fuente: Elaboración Propia

ANEXO N°5. Análisis de las mezclas de tierra – arena

Tabla 6.22: Análisis granulométrico de la tierra con 10% de arena

Tamiz nº	Abertura (mm)	Peso tamiz (gr)	Peso tamiz + muestra (gr)	Peso retenido (gr)	% Peso retenido	% Peso ret. acumulado	% Pasa
Nº 2"	50	538.98	538.98	0.00	0.00	0.00	100
Nº 1 1/2"	38.5	553.52	553.52	0.00	0.00	0.00	100
Nº 1"	25	546.77	546.77	0.00	0.00	0.00	100
Nº 3/4"	19	558.88	558.88	0.00	0.00	0.00	100
Nº 1/2"	12.5	543.26	543.26	0.00	0.00	0.00	100
Nº 3/8"	9.5	545.7	545.70	0.00	0.00	0.00	100
Nº 4	4.75	508.78	514.17	5.39	1.08	1.08	99
Nº 8	2.36	490.25	495.65	5.40	1.08	2.16	98
Nº16	1.18	411.32	426.05	14.73	2.94	5.10	95
Nº30	0.60	402.62	427.20	24.58	4.91	10.01	90
Nº50	0.30	370.32	395.58	25.26	5.05	15.05	85
Nº100	0.15	345.57	405.86	60.29	12.04	27.09	73
Nº200	0.075	300.31	356.35	56.04	11.19	38.29	62
CIEGA	< 0,075	368.12	369.01	308.98	61.71	100.00	0

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 6.23: Análisis granulométrico de la tierra con 20% de arena

Tamiz nº	Abertura (mm)	Peso tamiz (gr)	Peso tamiz + muestra (gr)	Peso retenido (gr)	% Peso retenido	% Peso ret. acumulado	% Pasa
Nº 2"	50	538.98	538.98	0.00	0.00	0.00	100
Nº 1 1/2"	38.5	553.52	553.52	0.00	0.00	0.00	100
Nº 1"	25	546.77	546.77	0.00	0.00	0.00	100
Nº 3/4"	19	558.88	558.88	0.00	0.00	0.00	100
Nº 1/2"	12.5	543.26	543.26	0.00	0.00	0.00	100
Nº 3/8"	9.5	545.7	545.70	0.00	0.00	0.00	100
Nº 4	4.75	508.78	512.72	3.94	0.79	0.79	99
Nº 8	2.36	490.25	499.96	9.71	1.94	2.73	97
Nº16	1.18	411.32	435.89	24.57	4.91	7.64	92
Nº30	0.60	402.62	436.47	33.85	6.77	14.41	86
Nº50	0.30	370.32	398.46	28.14	5.63	20.03	80
Nº100	0.15	345.57	411.30	65.73	13.14	33.17	67
Nº200	0.075	300.31	355.87	55.56	11.11	44.28	56
CIEGA	< 0,075	368.12	368.87	278.75	55.72	100.00	0

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 6.24: Análisis granulométrico de la tierra con 30% de arena

Tamiz nº	Abertura (mm)	Peso tamiz (gr)	Peso tamiz + muestra (gr)	Peso retenido (gr)	% Peso retenido	% Peso ret. acumulado	% Pasa
Nº 2"	50	538.98	538.98	0.00	0.00	0.00	100
Nº 1 1/2"	38.5	553.52	553.52	0.00	0.00	0.00	100
Nº 1"	25	546.77	546.77	0.00	0.00	0.00	100
Nº 3/4"	19	558.88	558.88	0.00	0.00	0.00	100
Nº 1/2"	12.5	543.26	543.26	0.00	0.00	0.00	100
Nº 3/8"	9.5	545.7	545.70	0.00	0.00	0.00	100
Nº 4	4.75	508.78	510.84	2.06	0.41	0.41	100
Nº 8	2.36	490.25	501.89	11.64	2.32	2.74	97
Nº16	1.18	411.32	446.24	34.92	6.97	9.71	90
Nº30	0.60	402.62	447.75	45.13	9.01	18.72	81
Nº50	0.30	370.32	401.47	31.15	6.22	24.94	75
Nº100	0.15	345.57	419.33	73.76	14.73	39.67	60
Nº200	0.075	300.31	357.66	57.35	11.45	51.13	49
CIEGA	< 0,075	368.12	369.09	244.74	48.87	100.00	0

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 6.25: Análisis granulométrico de la tierra con 40% de arena

Tamiz nº	Abertura (mm)	Peso tamiz (gr)	Peso tamiz + muestra (gr)	Peso retenido (gr)	% Peso retenido	% Peso ret. acumulado	% Pasa
Nº 2"	50	538.98	538.98	0.00	0.00	0.00	100
Nº 1 1/2"	38.5	553.52	553.52	0.00	0.00	0.00	100
Nº 1"	25	546.77	546.77	0.00	0.00	0.00	100
Nº 3/4"	19	558.88	558.88	0.00	0.00	0.00	100
Nº 1/2"	12.5	543.26	543.26	0.00	0.00	0.00	100
Nº 3/8"	9.5	545.7	545.70	0.00	0.00	0.00	100
Nº 4	4.75	508.78	520.84	12.06	2.41	2.41	98
Nº 8	2.36	490.25	509.19	18.94	3.79	6.20	94
Nº16	1.18	411.32	449.12	37.80	7.55	13.75	86
Nº30	0.60	402.62	444.80	42.18	8.43	22.18	78
Nº50	0.30	370.32	402.82	32.50	6.50	28.67	71
Nº100	0.15	345.57	428.21	82.64	16.52	45.19	55
Nº200	0.075	300.31	360.76	60.45	12.08	57.27	43
CIEGA	< 0,075	368.12	369.09	213.81	42.73	100.00	0

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 6.26: Análisis granulométrico de la tierra con 50% de arena

Tamiz nº	Abertura (mm)	Peso tamiz (gr)	Peso tamiz + muestra (gr)	Peso retenido (gr)	% Peso retenido	% Peso ret. acumulado	% Pasa
Nº 2"	50	538.98	538.98	0.00	0.00	0.00	100
Nº 1 1/2"	38.5	553.52	553.52	0.00	0.00	0.00	100
Nº 1"	25	546.77	546.77	0.00	0.00	0.00	100
Nº 3/4"	19	558.88	558.88	0.00	0.00	0.00	100
Nº 1/2"	12.5	543.26	543.26	0.00	0.00	0.00	100
Nº 3/8"	9.5	545.7	545.70	0.00	0.00	0.00	100
Nº 4	4.75	508.78	512.86	4.08	0.81	0.81	99
Nº 8	2.36	490.25	511.16	20.91	4.18	4.99	95
Nº16	1.18	411.32	460.87	49.55	9.89	14.88	85
Nº30	0.60	402.62	459.53	56.91	11.36	26.25	74
Nº50	0.30	370.32	405.74	35.42	7.07	33.32	67
Nº100	0.15	345.57	436.59	91.02	18.17	51.49	49
Nº200	0.075	300.31	361.19	60.88	12.16	63.65	36
CIEGA	< 0,075	368.12	369.12	182.05	36.35	100.00	0

Fuente: Elaboración Propia

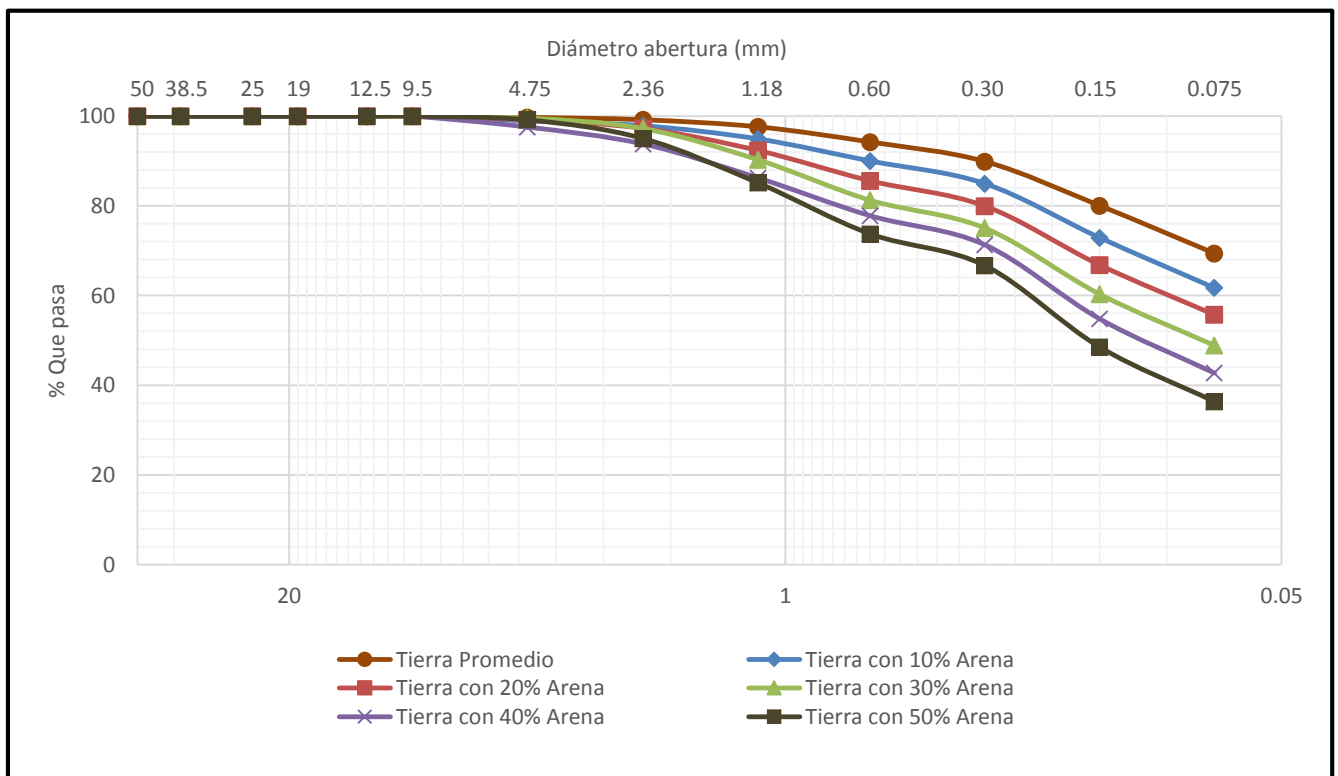


Figura 6.5: Curvas granulométricas de la tierra con diferentes porcentajes de arena

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 6.27: Composición de la tierra con porcentajes de arena

Comp. de la Muestra	10% arena	20% arena	30% arena	40% arena	50% arena
% Grava gruesa : de 80 a 40 mm (de 3" a 1 ½")	0	0	0	0	0
% Grava Fina : de 40 a 20 mm (1 ½" a ¾")	0	0	0	0	0
% Gravilla : de 20 a 10 mm (¾" a 3/8")	0	0	0	0	0
% Grava arena : de 10 a 5 mm (3/8" a Nº 4)	1	1	0	2	1
% Arena gruesa : de 5 a 2 mm (Nº 4 a Nº 10)	1	2	2	4	4
% Arena media : de 2 a 0,50 mm (Nº 10 a Nº 40)	8	11	16	16	21
% Arena fina : de 0,50 a 0,080 (Nº 40 a Nº 200)	28	30	33	35	38
% Limo - arcilloso:	62	56	49	43	36
Total	100	100	100	100	100

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 6.28: Dosificaciones de mezcla para 10 adobes nuevos

Código	Dosificaciones de mezcla, %			Materia prima, %		Pesos de Materia prima (kg)					Porcentaje de Agua	Variación del agua al anterior, %
	Arena	Limo - Arcilla	Cemento	Tierra	Arena	Total de suelo	Tierra	Arena	Cemento	Agua		
T1	50	50	0	70	30	42,0	29,4	12,6	0,00	8,82	21,0	-
			3			42,0	29,4	12,6	1,26	10,25	24,4	3,4
			6			42,0	29,4	12,6	2,52	10,63	25,3	0,9
			9			40,0	28,0	12,0	3,60	10,80	27,0	1,7
			12			37,0	25,9	11,1	4,44	10,73	29,0	2,0
T2	55 - 70	30 - 45	0	50	50	43,0	21,5	21,5	0,00	7,74	18,0	-
			3			43,0	21,5	21,5	1,29	9,03	21,0	3,0
			6			45,0	22,5	22,5	2,70	10,08	22,4	1,4
			9			45,0	22,5	22,5	4,05	10,49	23,3	0,9
			12			45,0	22,5	22,5	5,40	10,71	23,8	0,5
T3	75	25	0	30	70	51,0	15,3	35,7	0,00	7,65	15,0	-
			3			51,0	15,3	35,7	1,53	9,23	18,1	3,1
			6			51,0	15,3	35,7	3,06	9,64	18,9	0,8
			9			51,0	15,3	35,7	4,59	10,00	19,6	0,7
			12			51,0	15,3	35,7	6,12	10,25	20,1	0,5

Fuente: Elaboración Propia

ANEXO N°6. Comportamiento de los adobes elaborados

Tabla 6.29: Tiempo de secado de los adobes elaborados

Días	% Cemento	Peso de los adobes			Variación por pérdida de peso			Variación de pérdida de peso		
		gr			gr			%		
		T1	T2	T3	T1	T2	T3	T1	T2	T3
6	0	4295	4415	4710	-	-	-	-	-	-
	3	4240	4495	4730	-	-	-	-	-	-
	6	4380	4570	4795	-	-	-	-	-	-
	9	4335	4560	4675	-	-	-	-	-	-
	12	4365	4490	4760	-	-	-	-	-	-
7	0	4220	4365	4640	75	50	70	1.78	1.15	1.51
	3	4190	4455	4690	50	40	40	1.19	0.90	0.85
	6	4340	4530	4765	40	40	30	0.92	0.88	0.63
	9	4295	4530	4645	40	30	30	0.93	0.66	0.65
	12	4325	4455	4735	40	35	25	0.92	0.79	0.53
8	0	4185	4340	4610	110	75	100	2.63	1.73	2.17
	3	4160	4435	4665	80	60	65	1.92	1.35	1.39
	6	4315	4515	4745	65	55	50	1.51	1.22	1.05
	9	4270	4505	4625	65	55	50	1.52	1.22	1.08
	12	4305	4435	4715	60	55	45	1.39	1.24	0.95
9	0	4150	4320	4590	145	95	120	3.49	2.20	2.61
	3	4130	4405	4645	110	90	85	2.66	2.04	1.83
	6	4285	4495	4730	95	75	65	2.22	1.67	1.37
	9	4245	4490	4610	90	70	65	2.12	1.56	1.41
	12	4285	4420	4705	80	70	55	1.87	1.58	1.17
10	0	4120	4300	4575	175	115	135	4.25	2.67	2.95
	3	4100	4375	4625	140	120	105	3.41	2.74	2.27
	6	4260	4470	4710	120	100	85	2.82	2.24	1.80
	9	4220	4470	4600	115	90	75	2.73	2.01	1.63
	12	4265	4400	4690	100	90	70	2.34	2.05	1.49
12	0	4095	4285	4555	200	130	155	4.88	3.03	3.40
	3	4060	4340	4590	180	155	140	4.43	3.57	3.05
	6	4220	4440	4685	160	130	110	3.79	2.93	2.35
	9	4180	4445	4575	155	115	100	3.71	2.59	2.19
	12	4235	4380	4670	130	110	90	3.07	2.51	1.93
13	0	4085	4280	4555	210	135	155	5.14	3.15	3.40
	3	4050	4335	4585	190	160	145	4.69	3.69	3.16
	6	4210	4435	4685	170	135	110	4.04	3.04	2.35
	9	4175	4440	4575	160	120	100	3.83	2.70	2.19
	12	4230	4380	4670	135	110	90	3.19	2.51	1.93

Días	% Cemento	Peso de los adobes			Variación por pérdida de peso			Variación de pérdida de peso		
		gr			gr			%		
		T1	T2	T3	T1	T2	T3	T1	T2	T3
16	0	4070	4270	4550	225	145	160	5.53	3.40	3.52
	3	4010	4300	4555	230	195	175	5.74	4.53	3.84
	6	4170	4400	4660	210	170	135	5.04	3.86	2.90
	9	4140	4415	4555	195	145	120	4.71	3.28	2.63
	12	4200	4360	4655	165	130	105	3.93	2.98	2.26
20	0	4065	4265	4550	230	150	160	5.66	3.52	3.52
	3	3985	4270	4535	255	225	195	6.40	5.27	4.30
	6	4140	4380	4645	240	190	150	5.80	4.34	3.23
	9	4115	4400	4545	220	160	130	5.35	3.64	2.86
	12	4180	4350	4650	185	140	110	4.43	3.22	2.37
27	0	4035	4255	4535	260	160	175	6.44	3.76	3.86
	3	3950	4230	4480	290	265	250	7.34	6.26	5.58
	6	4100	4350	4610	280	220	185	6.83	5.06	4.01
	9	4080	4380	4530	255	180	145	6.25	4.11	3.20
	12	4130	4325	4630	235	165	130	5.69	3.82	2.81

Fuente: Elaboración Propia

Dónde:

T1: Mezcla de tierra de 50% de arena y 50% de limos – arcilla.

T2: Mezcla de tierra entre 55-70% de arena y entre 30-45% de limos – arcilla.

T3: Mezcla de tierra de 75% de arena y 25% de limos – arcilla.

Tabla 6.30: Compresión de adobe en equilibrio de tipo Tierra 1

(50% arena y 50% limo – arcilla)

% Cemento	Muestra	Largo (cm)		Ancho (cm)		Promedio (cm)		Área (cm ²)	Fuerza (Kgf)	Resistencia (Kg/cm ²)	Varianza
		L1	L2	A1	A2	L	A				
0	0-1	20.7	21.0	12.2	12.7	20.9	12.5	261.3	6,660.0	25.5	0.013
	0-2	20.6	21.2	12.1	13.2	20.9	12.7	265.4	6,885.0	25.9	0.013
	0-3	21.0	21.2	12.3	12.8	21.1	12.6	265.9	6,795.0	25.6	0.003
	0-4	20.5	21.3	12.2	12.7	20.9	12.5	261.3	6,755.0	25.9	0.013
	0-5	20.4	21.3	12.0	12.7	20.9	12.4	259.2	6,254.0	24.1	0.853
	Promedio		20.9		12.5		21.0	12.6	263.5	6,773.8	25.7
3	3-1	21.5	22.4	11.8	12.5	22.0	12.2	268.4	2,201.0	8.2	0.120
	3-2	21.3	21.9	12.8	13.8	21.6	13.3	287.3	2,541.0	8.8	0.000
	3-3	21.4	21.8	11.9	12.2	21.6	12.1	261.4	2,227.0	8.5	0.030
	3-4	22.1	23.0	12.6	12.7	22.6	12.7	287.0	2,513.0	8.8	0.000
	3-5	21.9	21.6	13.6	11.9	21.8	12.8	279.0	2,524.0	9.0	0.013
	Promedio		21.9		12.7		21.9	12.7	278.7	2,451.3	8.8
6	6-1	21.0	22.1	12.4	13.4	21.6	12.9	278.6	6,020.0	21.6	0.213
	6-2	21.1	22.2	12.0	13.1	21.7	12.6	273.4	5,221.0	19.1	0.963
	6-3	21.3	22.1	12.2	13.5	21.7	12.9	279.9	5,857.0	20.9	0.003
	6-4	21.6	22.9	12.1	13.2	22.3	12.7	283.2	5,812.0	20.5	0.030
	6-5	21.0	22.7	11.9	13.6	21.9	12.8	280.3	5,652.0	20.2	0.120
	Promedio		21.8		12.8		21.9	12.8	280.5	5,835.3	20.8
9	9-1	21.5	22.5	12.4	13.3	22.0	12.9	283.8	8,067.0	28.4	0.083
	9-2	21.7	22.6	12.9	13.3	22.2	13.1	290.8	8,053.0	27.7	0.013
	9-3	21.7	22.4	12.7	13.0	22.1	12.9	285.1	7,879.0	27.6	0.030
	9-4	21.6	22.4	12.4	13.5	22.0	13.0	286.0	8,005.0	28.0	0.003
	9-5	21.4	22.0	12.8	13.9	21.7	13.4	290.8	7,770.0	26.7	0.480
	Promedio		22.1		12.9		22.1	13.0	286.4	8,001.0	27.9
12	12-1	21.6	22.6	12.6	13.2	22.1	12.9	285.1	8,410.0	29.5	0.003
	12-2	21.7	22.4	12.8	13.3	22.1	13.1	289.5	8,616.0	29.8	0.053
	12-3	21.7	23.0	12.4	12.9	22.4	12.7	284.5	7,921.0	27.8	0.853
	12-4	21.5	22.8	12.2	13.2	22.2	12.7	281.9	8,320.0	29.5	0.003
	12-5	22.1	22.7	12.7	13.5	22.4	13.1	293.4	8,381.0	28.6	0.213
	Promedio		22.2		12.9		22.2	13.0	287.5	8,431.8	29.4

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 6.31: Compresión de adobe en equilibrio de tipo Tierra 2

(55-70% arena y 30-45% limos – arcilla)

% Cemento	Muestra	Largo (cm)		Ancho (cm)		Promedio (cm)		Área (cm ²)	Fuerza (Kgf)	Resistencia (Kg/cm ²)	Varianza
		L1	L2	A1	A2	L	A				
0	0-1	20.8	21.8	12.0	12.5	21.3	12.3	262.0	5,620.0	21.5	0.120
	0-2	20.5	21.9	12.4	12.6	21.2	12.5	265.0	5,986.0	22.6	0.083
	0-3	20.5	22.0	12.5	13.0	21.3	12.8	272.6	6,085.0	22.3	0.013
	0-4	20.8	21.8	12.1	12.9	21.3	12.5	266.3	6,285.0	23.6	0.750
	0-5	20.7	21.3	12.2	12.6	21.0	12.4	260.4	5,710.0	21.9	0.013
	Promedio		21.2		12.5		21.2	12.5	265.0	5,850.3	22.1
3	3-1	21.6	22.0	12.7	13.2	21.8	13.0	283.4	3,166.0	11.2	0.030
	3-2	21.5	22.6	12.8	13.4	22.1	13.1	289.5	3,122.0	10.8	0.003
	3-3	21.9	21.9	12.5	12.7	21.9	12.6	275.9	2,991.0	10.8	0.003
	3-4	21.9	22.4	12.4	13.0	22.2	12.7	281.9	3,021.0	10.7	0.013
	3-5	21.1	22.0	12.3	13.1	21.6	12.7	274.3	2,823.0	10.3	0.120
	Promedio		22.0		12.8		22.0	12.9	282.7	3,075.0	10.9
6	6-1	21.8	22.2	12.9	13.2	22.0	13.1	288.2	6,675.0	23.2	0.270
	6-2	21.6	22.4	12.1	12.9	22.0	12.5	275.0	6,725.0	24.5	0.053
	6-3	21.7	22.3	12.8	12.9	22.0	12.9	283.8	6,857.0	24.2	0.003
	6-4	21.7	22.2	12.9	13.3	22.0	13.1	288.2	6,445.0	22.4	0.963
	6-5	21.6	22.4	12.3	13.1	22.0	12.7	279.4	6,881.0	24.6	0.083
	Promedio		22.0		12.8		22.0	12.8	281.6	6,784.5	24.1
9	9-1	21.2	22.2	12.7	13.3	21.7	13.0	282.1	8,257.0	29.3	0.000
	9-2	21.2	22.1	12.4	13.3	21.7	12.9	279.9	7,822.0	27.9	0.653
	9-3	21.6	22.1	12.3	13.0	21.9	12.7	278.1	8,189.0	29.4	0.003
	9-4	21.5	22.5	12.2	13.1	22.0	12.7	279.4	8,088.0	28.9	0.053
	9-5	21.1	22.0	12.3	13.1	21.6	12.7	274.3	8,110.0	29.6	0.030
	Promedio		21.8		12.8		21.8	12.8	278.5	8,161.0	29.3
12	12-1	22.5	21.8	12.7	13.6	22.2	13.2	293.0	10,942.0	37.3	0.403
	12-2	22.0	23.0	12.8	13.9	22.5	13.4	301.5	11,645.0	38.6	0.013
	12-3	22.1	22.8	12.0	13.4	22.5	12.7	285.8	11,145.0	39.0	0.120
	12-4	21.9	22.3	12.6	13.2	22.1	12.9	285.1	10,969.0	38.5	0.003
	12-5	21.6	22.8	12.4	13.6	22.2	13.0	288.6	10,584.0	36.7	0.963
	Promedio		22.3		13.0		22.3	13.1	291.4	11,175.3	38.4

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 6.32: Compresión de adobe en equilibrio de tipo Tierra 3

(75% arena y 25% limos – arcilla)

% Cemento	Muestra	Largo (cm)		Ancho (cm)		Promedio (cm)		Área (cm ²)	Fuerza (Kgf)	Resistencia (Kg/cm ²)	Varianza
		L1	L2	A1	A2	L	A				
0	0-1	21.2	22.1	12.1	13.2	21.7	12.7	275.6	5,624.0	20.4	0.333
	0-2	20.9	22.0	12.4	12.8	21.5	12.6	270.9	5,823.0	21.5	0.003
	0-3	21.1	22.1	12.1	12.9	21.6	12.5	270.0	5,854.0	21.7	0.030
	0-4	21.1	22.2	12.2	12.8	21.7	12.5	271.3	5,827.0	21.5	0.003
	0-5	20.8	22.3	12.3	13.8	21.6	13.1	283.0	5,895.0	20.8	0.120
	Promedio		21.6		12.7		21.6	12.7	273.8	5,849.8	21.4
3	3-1	21.3	22.1	12.5	13.2	21.7	12.9	279.9	3,401.0	12.2	0.053
	3-2	21.5	22.8	12.4	13.0	22.2	12.7	281.9	3,351.0	11.9	0.003
	3-3	21.7	22.0	12.5	13.1	21.9	12.8	280.3	3,105.0	11.1	0.163
	3-4	21.4	21.9	12.4	12.9	21.7	12.7	275.6	3,176.0	11.5	0.030
	3-5	21.4	22.1	12.4	13.5	21.8	13.0	283.4	3,288.0	11.6	0.013
	Promedio		21.8		12.8		21.9	12.8	280.2	3,304.0	11.8
6	6-1	22.2	22.2	13.3	13.8	22.2	13.6	301.9	8,590.0	28.5	0.963
	6-2	22.2	22.7	12.8	13.0	22.5	12.9	290.3	8,813.0	30.4	0.013
	6-3	22.5	22.8	12.7	13.2	22.7	13.0	295.1	8,985.0	30.4	0.013
	6-4	22.5	22.7	12.9	13.6	22.6	13.3	300.6	8,877.0	29.5	0.163
	6-5	22.2	22.0	13.1	13.3	22.1	13.2	291.7	8,924.0	30.6	0.053
	Promedio		22.5		13.1		22.5	13.1	294.4	8,899.8	30.2
9	9-1	22.0	22.8	12.8	13.8	22.4	13.3	297.9	10,324.0	34.7	0.750
	9-2	22.4	23.3	13.3	13.5	22.9	13.4	306.9	11,297.0	36.8	0.120
	9-3	21.8	22.4	13.0	13.9	22.1	13.5	298.4	10,562.0	35.4	0.213
	9-4	21.5	22.5	13.1	13.2	22.0	13.2	290.4	10,725.0	36.9	0.163
	9-5	21.9	22.8	12.4	13.5	22.4	13.0	291.2	10,384.0	35.7	0.083
	Promedio		22.3		13.2		22.4	13.3	296.7	10,742.0	36.2
12	12-1	21.7	22.2	13.5	12.7	22.0	13.1	288.2	14,326.0	49.7	0.750
	12-2	22.3	23.1	12.6	13.3	22.7	13.0	295.1	13,677.0	46.3	1.203
	12-3	21.3	22.7	12.7	13.5	22.0	13.1	288.2	13,725.0	47.6	0.120
	12-4	22.5	22.7	12.8	13.2	22.6	13.0	293.8	13,855.0	47.2	0.333
	12-5	22.0	22.3	12.2	13.2	22.2	12.7	281.9	13,625.0	48.3	0.003
	Promedio		22.2		13.0		22.2	13.0	288.0	13,882.8	48.2

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 6.33: Análisis estadístico de la resistencia a compresión del adobe en equilibrio.

Tipo de tierra	% cemento	Promedio	Varianza	Desviación estándar (kg/cm ²)	Coefficiente de variación (%)
T1 (50% de arena y 50% de limos - arcilla)	0	25.70	0.04	0.21	0.82
	3	8.80	0.04	0.21	2.39
	6	20.80	0.37	0.61	2.93
	9	27.90	0.13	0.36	1.29
	12	29.40	0.27	0.52	1.77
T2 (55-70% de arena y 30-45% de limos - arcilla)	0	22.10	0.23	0.48	2.17
	3	10.90	0.05	0.22	2.02
	6	24.10	0.41	0.64	2.66
	9	29.30	0.09	0.29	0.99
	12	38.40	0.54	0.73	1.90
T3 (75% de arena y 25% de limos - arcilla)	0	21.40	0.16	0.40	1.87
	3	11.80	0.10	0.32	2.71
	6	30.20	0.24	0.49	1.62
	9	36.20	0.58	0.76	2.10
	12	48.20	1.21	1.10	2.28

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 6.34: Compresión en adobe saturado de tipo Tierra 1

(50% arena y 50% limo – arcilla)

% Cemento	Muestra	Largo (cm)		Ancho (cm)		Promedio (cm)		Área (cm ²)	Fuerza (Kgf)	Resistencia (Kg/cm ²)	Varianza
		L1	L2	A1	A2	L	A				
3	3-1	20.6	20.5	11.7	11.9	20.6	11.8	243.1	510.0	2.1	0.000
	3-2	20.0	20.2	11.8	11.9	20.1	11.9	239.2	482.0	2.0	0.003
	3-3	20.5	20.2	11.9	12.0	20.4	12.0	244.8	509.0	2.1	0.000
	3-4	21.0	21.5	11.7	11.5	21.3	11.6	247.1	622.0	2.5	0.053
	3-5	19.9	20.5	11.9	11.7	20.2	11.8	238.4	490.0	2.1	0.000
	Promedio		20.3		11.9		20.3	11.9	241.4	497.8	2.1
6	6-1	21.6	22.6	12.1	13.2	22.1	12.7	280.7	3,652.0	13.0	0.653
	6-2	21.3	22.0	12.1	12.9	21.7	12.5	271.3	3,125.0	11.5	0.003
	6-3	21.2	22.2	12.3	12.9	21.7	12.6	273.4	3,219.0	11.8	0.013
	6-4	21.4	22.6	12.2	13.2	22.0	12.7	279.4	3,145.0	11.3	0.030
	6-5	21.4	20.9	12.0	12.6	21.2	12.3	260.8	3,102.0	11.9	0.030
	Promedio		21.6		12.5		21.7	12.5	271.2	3,147.8	11.6
9	9-1	22.3	22.6	12.7	13.1	22.5	12.9	290.3	4,876.0	16.8	0.083
	9-2	21.7	23.0	13.0	13.4	22.4	13.2	295.7	5,282.0	17.9	0.120
	9-3	21.9	22.7	12.7	13.0	22.3	12.9	287.7	4,957.0	17.2	0.003
	9-4	22.7	22.8	12.6	13.4	22.8	13.0	296.4	4,721.0	15.9	0.653
	9-5	21.3	22.0	12.3	12.2	21.7	12.3	266.9	4,584.0	17.2	0.003
	Promedio		22.2		12.8		22.2	12.8	285.2	4,924.8	17.3
12	12-1	22.3	23.2	12.5	13.4	22.8	13.0	296.4	6,199.0	20.9	0.083
	12-2	22.1	22.5	12.4	13.2	22.3	12.8	285.4	5,895.0	20.7	0.030
	12-3	21.6	22.9	12.3	13.0	22.3	12.7	283.2	5,301.0	18.7	0.963
	12-4	21.8	22.4	12.7	13.3	22.1	13.0	287.3	5,647.0	19.7	0.163
	12-5	21.9	22.6	12.7	12.1	22.3	12.4	276.5	5,628.0	20.4	0.000
	Promedio		22.4		12.8		22.4	12.8	286.4	5,842.3	20.4

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 6.35: Compresión en adobe saturado de tipo Tierra 2

(55-70% arena y 30-45% limos – arcilla)

% Cemento	Muestra	Largo (cm)		Ancho (cm)		Promedio (cm)		Área (cm ²)	Fuerza (Kgf)	Resistencia (Kg/cm ²)	Varianza
		L1	L2	A1	A2	L	A				
3	3-1	21.9	22.0	12.4	13.0	22.0	12.7	279.4	1,458.0	5.2	0.000
	3-2	21.2	21.9	12.0	12.5	21.6	12.3	265.7	1,358.0	5.1	0.003
	3-3	20.5	20.8	12.0	11.9	20.7	12.0	248.4	1,254.0	5.0	0.013
	3-4	20.6	21.0	11.9	12.0	20.8	12.0	249.6	1,122.0	4.5	0.163
	3-5	21.0	21.5	12.2	12.6	21.3	12.4	264.1	1,408.0	5.3	0.003
	Promedio		21.4		12.3		21.4	12.4	264.4	1,369.5	5.2
6	6-1	21.9	22.4	12.8	13.3	22.2	13.1	290.8	3,927.0	13.5	0.563
	6-2	21.5	22.1	12.5	13.1	21.8	12.8	279.0	4,022.0	14.4	0.053
	6-3	21.4	22.0	12.8	13.0	21.7	12.9	279.9	4,292.0	15.3	0.083
	6-4	22.0	22.4	12.7	13.1	22.2	12.9	286.4	4,293.0	15.0	0.013
	6-5	21.5	22.0	12.1	12.2	21.8	12.2	266.0	3,879.0	14.6	0.013
	Promedio		21.9		12.7		21.9	12.7	277.8	4,121.5	14.8
9	9-1	21.7	22.6	12.8	13.5	22.2	13.2	293.0	5,312.0	18.1	0.750
	9-2	21.3	22.5	12.7	13.4	21.9	13.1	286.9	4,829.0	16.8	0.013
	9-3	21.4	22.2	12.4	13.0	21.8	12.7	276.9	4,573.0	16.5	0.003
	9-4	21.7	22.5	12.7	13.3	22.1	13.0	287.3	4,927.0	17.1	0.083
	9-5	21.5	21.3	12.4	13.0	21.4	12.7	271.8	4,385.0	16.1	0.083
	Promedio		21.8		12.9		21.8	12.9	280.7	4,678.5	16.6
12	12-1	22.5	22.8	12.6	13.0	22.7	12.8	290.6	5,872.0	20.2	0.003
	12-2	21.7	22.4	12.8	13.0	22.1	12.9	285.1	5,802.0	20.4	0.030
	12-3	21.6	22.1	12.9	13.2	21.9	13.1	286.9	5,680.0	19.8	0.030
	12-4	22.1	22.7	12.6	13.4	22.4	13.0	291.2	6,205.0	21.3	0.480
	12-5	21.7	22.8	12.7	13.5	22.3	13.1	292.1	5,821.0	19.9	0.013
	Promedio		22.2		13.0		22.3	13.0	288.7	5,793.8	20.1

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 6.36: Compresión de adobe saturado de tipo Tierra 3

(75% arena y 25% limos – arcilla)

% Cemento	Muestra	Largo (cm)		Ancho (cm)		Promedio (cm)		Área (cm ²)	Fuerza (Kgf)	Resistencia (Kg/cm ²)	Varianza
		L1	L2	A1	A2	L	A				
3	3-1	21.2	21.8	12.0	12.9	21.5	12.5	268.8	2,133.0	7.9	0.013
	3-2	21.2	21.4	12.5	12.6	21.3	12.6	268.4	1,657.0	6.2	0.750
	3-3	21.0	21.5	12.4	12.7	21.3	12.6	268.4	2,055.0	7.7	0.000
	3-4	21.4	21.5	12.0	12.3	21.5	12.2	262.3	1,934.0	7.4	0.030
	3-5	21.4	21.3	12.1	12.8	21.4	12.5	267.5	2,105.0	7.9	0.013
	Promedio		21.4		12.4		21.4	12.5	266.8	2,056.8	7.7
6	6-1	21.4	22.0	12.5	13.2	21.7	12.9	279.9	4,747.0	17.0	0.030
	6-2	21.6	22.3	12.4	13.2	22.0	12.8	281.6	4,728.0	16.8	0.003
	6-3	21.4	22.3	12.5	13.1	21.9	12.8	280.3	4,648.0	16.6	0.003
	6-4	21.5	22.5	12.9	13.6	22.0	13.3	292.6	5,116.0	17.5	0.213
	6-5	21.8	22.5	13.0	13.1	22.2	13.1	290.8	4,782.0	16.4	0.030
	Promedio		21.9		12.9		22.0	12.9	283.2	4,726.3	16.7
9	9-1	21.6	22.5	12.4	13.0	22.1	12.7	280.7	5,912.0	21.1	0.480
	9-2	21.5	22.6	12.5	13.4	22.1	13.0	287.3	6,385.0	22.2	0.003
	9-3	22.3	22.3	12.7	13.5	22.3	13.1	292.1	6,569.0	22.5	0.013
	9-4	21.6	22.7	12.5	13.3	22.2	12.9	286.4	6,498.0	22.7	0.053
	9-5	21.9	22.5	12.8	13.5	22.2	13.2	293.0	6,396.0	21.8	0.083
	Promedio		22.2		13.0		22.2	13.1	289.7	6,462.0	22.3
12	12-1	21.6	23.1	12.6	13.5	22.4	13.1	293.4	7,638.0	26.0	0.013
	12-2	22.0	22.8	12.8	13.1	22.4	13.0	291.2	7,728.0	26.5	0.030
	12-3	21.4	23.1	12.5	13.4	22.3	13.0	289.9	7,581.0	26.2	0.000
	12-4	21.7	23.0	12.5	13.8	22.4	13.2	295.7	7,966.0	26.9	0.163
	12-5	21.2	23.1	12.7	13.3	22.2	13.0	288.6	7,531.0	26.1	0.003
	Promedio		22.3		13.0		22.3	13.0	290.8	7,619.5	26.2

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 6.37: Análisis estadístico de la resistencia a compresión del adobe saturado.

Tipo de tierra	% cemento	Promedio	Varianza	Desviación estándar (kg/cm ²)	Coefficiente de variación (%)
T1 (50% de arena y 50% de limos - arcilla)	3	2.10	0.00	0.06	2.86
	6	11.60	0.08	0.28	2.41
	9	17.30	0.21	0.46	2.66
	12	20.40	0.28	0.53	2.60
T2 (55-70% de arena y 30-45% de limos - arcilla)	3	5.20	0.02	0.14	2.69
	6	14.80	0.16	0.40	2.70
	9	16.60	0.18	0.43	2.59
	12	20.10	0.08	0.28	1.39
T3 (75% de arena y 25% de limos - arcilla)	3	7.70	0.06	0.24	3.12
	6	16.70	0.07	0.26	1.56
	9	22.30	0.15	0.39	1.75
	12	26.20	0.05	0.22	0.84

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 6.38: Ensayo de durabilidad a 7 días bajo agua

% Cemento	Muestra	Peso seco (kg)									Porcentaje de variación de pérdida peso		
		Antes de sumergir			Después de sumergir			Variación de pérdida de peso					
		(Pi)			(Pf)			(Pi - Pf)					
		T1	T2	T3	T1	T2	T3	T1	T2	T3	T1	T2	T3
0	0-1	4.085	4.125	4.200	0.000	0.000	0.000	4.085	4.125	4.200	100.0	100.0	100.0
	0-2	4.090	4.200	4.300	0.000	0.000	0.000	4.090	4.200	4.300	100.0	100.0	100.0
	0-3	4.075	4.235	4.455	0.000	0.000	0.000	4.075	4.235	4.455	100.0	100.0	100.0
	Promedio							4.083	4.187	4.318	100.0	100.0	100.0
3	3-1	3.895	4.135	4.170	2.725	3.415	3.420	1.170	0.720	0.750	30.0	17.4	18.0
	3-2	3.910	4.200	4.400	2.730	3.485	3.605	1.180	0.715	0.795	30.2	17.0	18.1
	3-3	3.955	4.185	4.355	2.745	3.465	3.560	1.210	0.720	0.795	30.6	17.2	18.3
	Promedio							1.187	0.718	0.780	30.3	17.2	18.1
6	6-1	4.120	4.115	4.565	4.220	4.120	4.625	-0.100	-0.005	-0.060	-2.4	-0.1	-1.3
	6-2	4.100	4.285	4.605	4.205	4.295	4.675	-0.105	-0.010	-0.070	-2.6	-0.2	-1.5
	6-3	4.135	4.325	4.595	4.220	4.330	4.650	-0.085	-0.005	-0.055	-2.1	-0.1	-1.2
	Promedio							-0.097	-0.007	-0.062	-2.4	-0.1	-1.3
9	9-1	4.280	4.400	4.560	4.315	4.455	4.635	-0.035	-0.055	-0.075	-0.8	-1.2	-1.6
	9-2	4.275	4.385	4.575	4.305	4.425	4.655	-0.030	-0.040	-0.080	-0.7	-0.9	-1.7
	9-3	4.150	4.400	4.530	4.190	4.455	4.605	-0.040	-0.055	-0.075	-1.0	-1.2	-1.7
	Promedio							-0.035	-0.050	-0.077	-0.8	-1.1	-1.7
12	12-1	4.220	4.365	4.660	4.265	4.405	4.745	-0.045	-0.040	-0.085	-1.1	-0.9	-1.8
	12-2	4.185	4.325	4.665	4.245	4.365	4.765	-0.060	-0.040	-0.100	-1.4	-0.9	-2.1
	12-3	4.145	4.330	4.630	4.190	4.385	4.720	-0.045	-0.055	-0.090	-1.1	-1.3	-1.9
	Promedio							-0.050	-0.045	-0.092	-1.2	-1.0	-1.9

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 6.39: Análisis estadístico de la durabilidad a 7 días bajo agua

% Cemento	Tipo de tierra	Promedio	Varianza	Desviación estándar (%)
0	T1	100.0	0.000	0.00
	T2	100.0	0.000	0.00
	T3	100.0	0.000	0.00
3	T1	30.3	0.095	0.31
	T2	17.2	0.040	0.20
	T3	18.1	0.025	0.16
6	T1	-2.4	0.065	0.25
	T2	-0.1	0.005	0.07
	T3	-1.3	0.025	0.16
9	T1	-0.8	0.025	0.16
	T2	-1.1	0.030	0.17
	T3	-1.7	0.005	0.07
12	T1	-1.2	0.030	0.17
	T2	-1.0	0.055	0.23
	T3	-1.9	0.025	0.16

Fuente: Elaboración Propia

ANEXO N°7. Comportamiento de los adobes durante los 7 días bajo agua

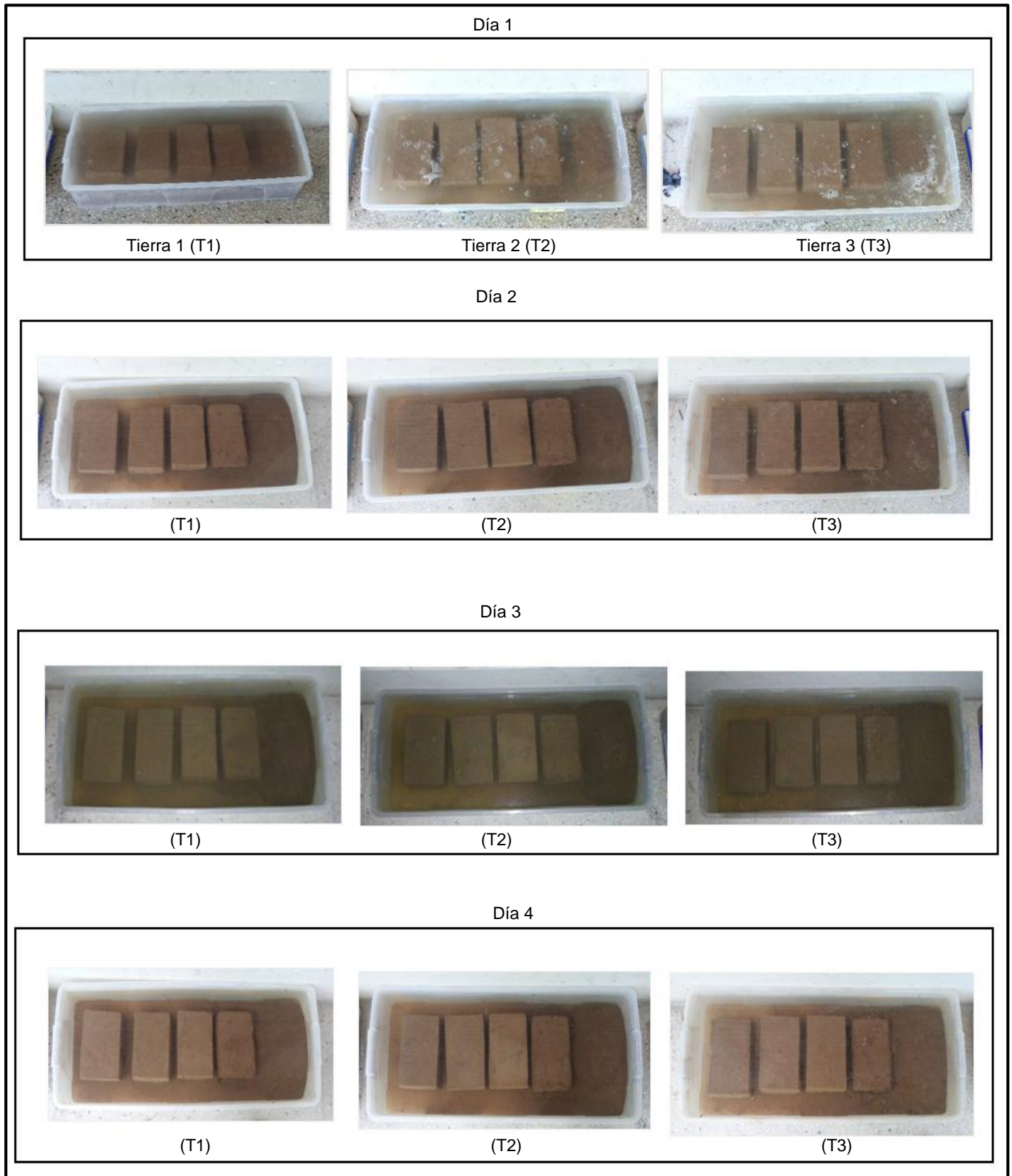


Figura 6.6: Comportamiento del adobe a 4 días de saturación en agua

Fuente: Elaboración Propia

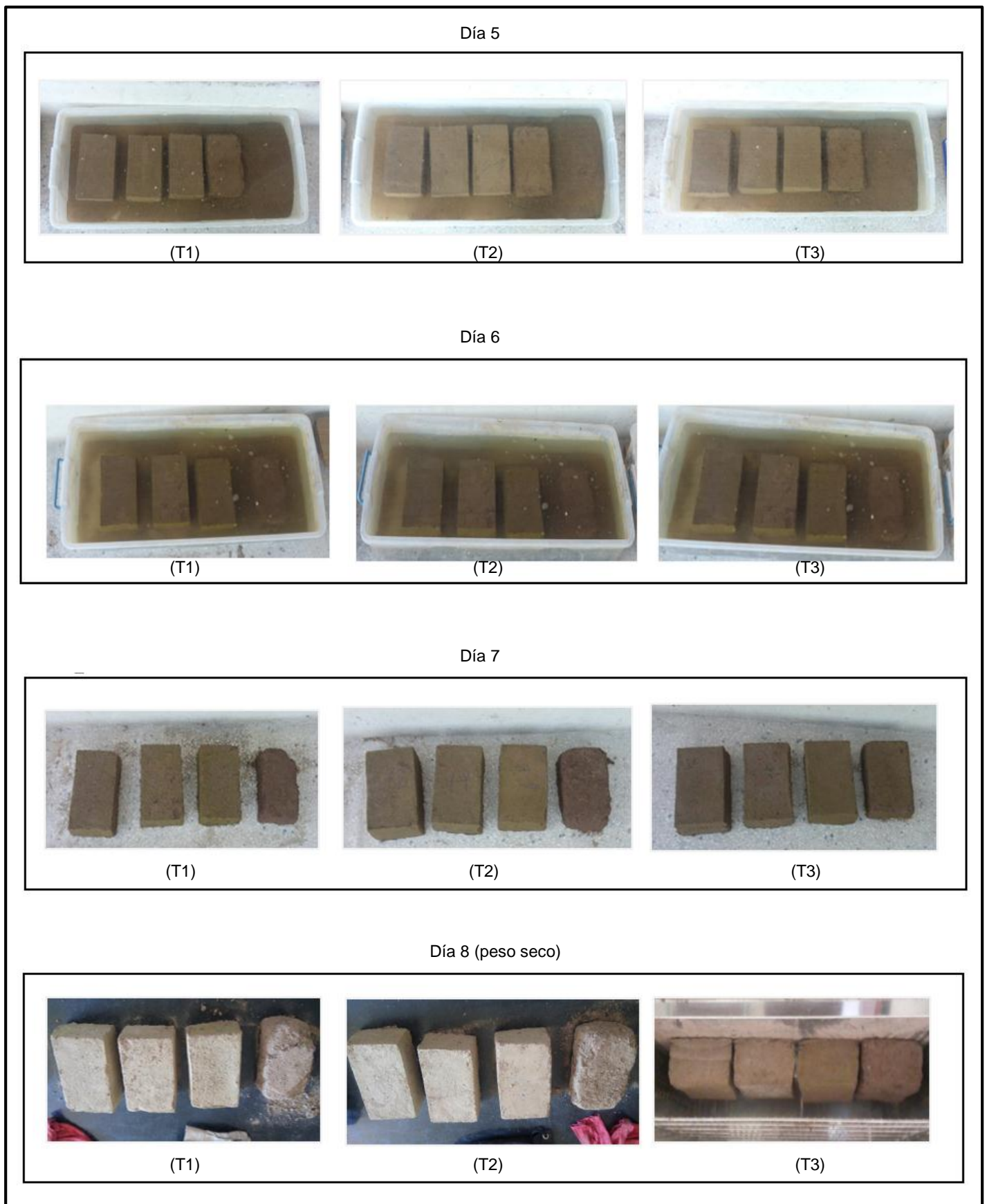


Figura 6.7: Comportamiento del adobe de 5 a 7 días de saturación en agua

Fuente: Elaboración Propia

ANEXO N°8. Panel fotográfico



Figura 6.8: Visita a adoberas de Trujillo
Fuente: Elaboración propia



Figura 6.9: Elaboración de discos de suelo con
cemento a diferentes porcentajes
Fuente: Elaboración propia



Figura 6.10: Elaboración de mezcla para los adobes

Fuente: Elaboración propia



Figura 6.11: Adobes elaborados durante proceso de secado

Fuente: Elaboración propia



Figura 6.12: Adobes en estado de saturación en agua
Fuente: Elaboración propia



Figura 6.13: Adobes bajo agua durante 7 días
Fuente: Elaboración propia

ANEXO N°9. Certificados Universidad Privada del Norte



Solicitante	Juan Francisco Nureña Zavaleta – DNI 71224530
Universidad	Universidad Privada del Norte
Facultad	Ingeniería
Carrera	Ingeniería civil
Laboratorio	Concreto y estructuras
Tesis	Influencia del estabilizante de cemento y tipos de suelos sobre la resistencia y durabilidad de un adobe constructivo
Ensayo	Resistencia a compresión en equilibrio de unidades de adobe.
Muestra	75 unidades de adobe
Fecha	31 de mayo del 2017

% Cemento	Muestra	Fuerza (Kgf)		
		Tierra 1	Tierra 2	Tierra 3
0	0-1	6.660,0	5.620,0	5.624,0
	0-2	6.885,0	5.986,0	5.823,0
	0-3	6.795,0	6.085,0	5.854,0
	0-4	6.755,0	6.285,0	5.827,0
	0-5	6.254,0	5.710,0	5.895,0
3	3-1	2.201,0	3.166,0	3.401,0
	3-2	2.541,0	3.122,0	3.351,0
	3-3	2.227,0	2.991,0	3.105,0
	3-4	2.513,0	3.021,0	3.176,0
	3-5	2.524,0	2.823,0	3.288,0
6	6-1	6.020,0	6.675,0	8.590,0
	6-2	5.221,0	6.725,0	8.813,0
	6-3	5.857,0	6.857,0	8.985,0
	6-4	5.812,0	6.445,0	8.877,0
	6-5	5.652,0	6.881,0	8.924,0
9	9-1	8.067,0	8.257,0	10.324,0
	9-2	8.053,0	7.822,0	11.297,0
	9-3	7.879,0	8.189,0	10.562,0
	9-4	8.005,0	8.088,0	10.725,0
	9-5	7.770,0	8.110,0	10.384,0
12	12-1	8.410,0	10.942,0	14.326,0
	12-2	8.616,0	11.645,0	13.677,0
	12-3	7.921,0	11.145,0	13.725,0
	12-4	8.320,0	10.969,0	13.855,0
	12-5	8.381,0	10.584,0	13.625,0



Eddy Espinoza Rodríguez
Eddy Espinoza Rodríguez
Coordinador de Laboratorio
Carrera de Ingeniería Civil


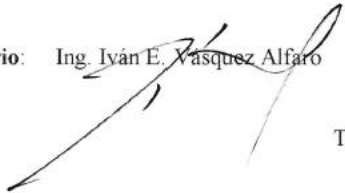
Solicitante	Juan Francisco Nureña Zavaleta – DNI 71224530
Universidad	Universidad Privada del Norte
Facultad	Ingeniería
Carrera	Ingeniería civil
Laboratorio	Concreto y estructuras
Tesis	Influencia del estabilizante de cemento y tipos de suelos sobre la resistencia y durabilidad de un adobe constructivo
Ensayo	Resistencia a compresión en estado saturado de unidades de adobe
Muestra	60 unidades de adobe
Fecha	31 de mayo del 2017

% Cemento	Muestra	Fuerza (Kgf)		
		Tierra 1	Tierra 2	Tierra 3
3	3-1	510,0	1.458,0	2.133,0
	3-2	482,0	1.358,0	1.657,0
	3-3	509,0	1.254,0	2.055,0
	3-4	622,0	1.122,0	1.934,0
	3-5	490,0	1.408,0	2.105,0
6	6-1	3.652,0	3.927,0	4.747,0
	6-2	3.125,0	4.022,0	4.728,0
	6-3	3.219,0	4.292,0	4.648,0
	6-4	3.145,0	4.293,0	5.116,0
	6-5	3.102,0	3.879,0	4.782,0
9	9-1	4.876,0	5.312,0	5.912,0
	9-2	5.282,0	4.829,0	6.385,0
	9-3	4.957,0	4.573,0	6.569,0
	9-4	4.721,0	4.927,0	6.498,0
	9-5	4.584,0	4.385,0	6.396,0
12	12-1	6.199,0	5.872,0	7.638,0
	12-2	5.895,0	5.802,0	7.728,0
	12-3	5.301,0	5.680,0	7.581,0
	12-4	5.647,0	6.205,0	7.966,0
	12-5	5.628,0	5.821,0	7.531,0




Eddy Espejo Rodríguez
Coordinador de Laboratorio
Carrera de Ingeniería Civil

ANEXO N°10. Certificados Universidad Nacional de Trujillo

	UNIVERSIDAD NACIONAL DE TRUJILLO LABORATORIO DE FRACTOMECAICA-CONCRETO Departamento de Ingeniería de Materiales	FACULTAD DE INGENIERÍA <i>Av. Juan Pablo II s/n - Ciudad Universitaria Trujillo - Perú</i>
INFORME N° 139 -JUN-2017		
Solicitante:	Juan Francisco Nureña Zavaleta – DNI 71224530	
Documento:	01	
Institución:	Universidad Privada del Norte	
Título:	“Influencia del estabilizante de cemento y tipos de suelos sobre la resistencia y durabilidad de un adobe constructivo”	
MUESTRA		
Espécimen:		
<ul style="list-style-type: none">• Materia prima en adobes artesanales y materia prima para el conformado de adobes: tierra, arena, agua.• 15 unidades de adobes artesanales de la zona de Trujillo.• 60 unidades de adobe de 21.5 cm de largo, 12.5 cm de ancho y 8.5 cm de altura.		
Edad del espécimen:	1 - 26 días	
Muestreo realizado por:	Tesisista	
ENSAYOS A APLICAR: Las principales Normas Técnicas vigentes que rigen la calidad son:		
<ul style="list-style-type: none">• NTP 339.127 SUELOS. Método del contenido de humedad• NTP 339.128 SUELOS. Análisis granulométrico.• NTP 339.129 SUELOS. Límite líquido, límite plástico, e índice de plasticidad• NTP 339.134 SUELOS. Sistema unificado de clasificación de suelos, SUCS.• Conductividad, pH, salinidad, sólidos totales suspendidos.• NTE E.080. Resistencia a la compresión por unidad.		
Analista de Laboratorio:	Ing. Iván E. Vasquez Alfaro	
	 Trujillo, 06 de Junio del 2017	



INFORME N° 139 -JUN-2017

Caracterización de la materia prima

• NTP 339.128 SUELOS. Análisis granulométrico. Adobes artesanales

Composición de la Muestra		Norma E.080	Moche		San Isidro		Av. Villarreal	
% Grava	% Grava gruesa : de 80 a 40 mm (de 3" a 1 1/2")	0	0	0	0	8	0	2
	% Grava Fina : de 40 a 20 mm (1 1/2" a 3/4")		0		0			
	% Gravilla : de 20 a 10 mm (3/4" a 3/8")		0		5		1	
	% Grava arena : de 10 a 5 mm (3/8" a N° 4)		0		3		1	
% Arena	% Grano grueso : de 5 a 2 mm (N° 4 a N° 10)	55 - 70	1	55	2	67	1	65
	% Grano medio : de 2 a 0,50 mm (N° 10 a N° 40)		5		4		4	
	% Grano fino : de 0,50 a 0,080 (N° 40 a N° 200)		49		61		60	
% Finos	% Limo - arcilloso:	30 - 45	45	45	25	25	33	33

• NTP 339.127 - NTP 339.129 - NTP 339.134 SUELOS. Adobes artesanales

Ubicación de adobera	Moche	San isidro	Villarreal
Límite líquido, %	26.2	NP	23.1
Límite plástico, %	10.5	NP	15.1
Índice de plasticidad, %	15.7	NP	8.0
Humedad, %	2.9	1.6	2.2
S.U.C.S.	SC	SM	SC

• NTP 339.128 SUELOS. Análisis granulométrico. Materia prima: tierra y arena

Composición de la Muestra		Tierra		Arena	
% Grava	% Grava gruesa : de 80 a 40 mm (de 3" a 1 1/2")	0	0	0	3
	% Grava Fina : de 40 a 20 mm (1 1/2" a 3/4")	0		0	
	% Gravilla : de 20 a 10 mm (3/4" a 3/8")	0		0	
	% Grava arena : de 10 a 5 mm (3/8" a N° 4)	0		3	
% Arena	% Grano grueso : de 5 a 2 mm (N° 4 a N° 10)	1	31	10	94
	% Grano medio : de 2 a 0,50 mm (N° 10 a N° 40)	5		30	
	% Grano fino : de 0,50 a 0,080 (N° 40 a N° 200)	25		54	
% Finos	% Limo - arcilloso:	69	69	3	3

Analista de Laboratorio: Ing. Iván E. Vásquez Alfaro

Trujillo, 06 de Junio del 2017



INFORME N° 139 -JUN-2017

- **NTP 339.127 - NTP 339.129 - NTP 339.134 SUELOS. Tierra**

Muestra	Promedio
Límite líquido, %	31.9
Límite plástico, %	11.0
Índice de plasticidad, %	20.9
Humedad, %	5.2
S.U.C.S.	CL

- **NTP 339.128 SUELOS. Análisis granulométrico. Tierra con arena**

Muestra	10%	20%	30%	40%	50%	
% Grava	1	1	0	2	1	
% Arena	%Grano grueso	1	2	2	4	4
	%Grano medio	8	11	16	16	21
	%Grano fino	28	30	33	35	38
% Finos	62	56	49	43	36	

- **Análisis químico de la materia prima: Tierra, arena y agua**

Materia Prima	Ph	Salinidad	Conductividad	Solidos totales suspendidos
		ppm	µs/cm	ppm
Agua Potable	8.64	800	1594	1424
Agua Destilada	8.00	0	16.59	6
Tierra	8.04	256	521	347
Arena	9.06	164	331	218

- **Dimensiones de los adobes artesanales**

Adobera	Largo	Ancho	altura
	cm		
Moche	21.6	12.1	8.4
San Isidro	21.7	12.7	8.8
Villarreal	21.4	12.4	8.6
Promedio	21.6	12.4	8.6

Analista de Laboratorio: Ing. Iván E. Vásquez Alfaro

Trujillo, 06 de Junio del 2017



INFORME N° 139 -JUN-2017

• **NTE E.080. Resistencia a la compresión por unidad. Adobes artesanales**

Ubicación de adobe	Muestra	Área (mm ²)	Fuerza (KN)	Resistencia (Kg/cm ²)
Moche	M2	25,847.3	32.3	12.70
	M3	26,365.5	28.1	10.90
	M4	26,308.8	31.8	12.30
	Promedio	26,173.9	30.7	12.0
San Isidro	SI1	27,292.3	17.6	6.60
	SI3	27,749.5	21.5	7.90
	SI4	27,071.0	12.1	4.60
	Promedio	27,370.9	17.1	6.4
Av. Villarreal	V2	26,919.8	25.1	9.50
	V3	26,199.0	31.1	12.10
	V4	26,305.5	30.3	11.70
	Promedio	26,474.8	28.8	11.1

• **Peso de unidades de adobe para tiempo de secado**

Días	% Cemento	Peso de los adobes		
		gr		
		T1	T2	T3
6	0	4295	4415	4710
	3	4240	4495	4730
	6	4380	4570	4795
	9	4335	4560	4675
	12	4365	4490	4760
7	0	4220	4365	4640
	3	4190	4455	4690
	6	4340	4530	4765
	9	4295	4530	4645
	12	4325	4455	4735
8	0	4185	4340	4610
	3	4160	4435	4665
	6	4315	4515	4745
	9	4270	4505	4625
	12	4305	4435	4715
9	0	4150	4320	4590
	3	4130	4405	4645
	6	4285	4495	4730
	9	4245	4490	4610
	12	4285	4420	4705
10	0	4120	4300	4575
	3	4100	4375	4625
	6	4260	4470	4710
	9	4220	4470	4600
	12	4265	4400	4690
12	0	4095	4285	4555
	3	4060	4340	4590
	6	4220	4440	4685
	9	4180	4445	4575
	12	4235	4380	4670
13	0	4085	4280	4555
	3	4050	4335	4585
	6	4210	4435	4685
	9	4175	4440	4575
	12	4230	4380	4670
16	0	4070	4270	4550
	3	4010	4300	4555
	6	4170	4400	4660
	9	4140	4415	4555
	12	4200	4360	4655
20	0	4065	4265	4550
	3	3985	4270	4535
	6	4140	4380	4645
	9	4115	4400	4545
	12	4180	4350	4650
27	0	4035	4255	4535
	3	3950	4230	4480
	6	4100	4350	4610
	9	4080	4380	4530
	12	4130	4325	4630

Analista de Laboratorio: Ing. Iván E. Vásquez Alfaro

Trujillo, 06 de Junio del 2017



INFORME N° 139 -JUN-2017

• **Peso de unidades de adobe para ensayo de durabilidad**


% Cemento	Muestra	Peso seco (kg)					
		Antes de sumergir			Después de sumergir		
		T1	T2	T3	T1	T2	T3
0	0-1	4.085	4.125	4.200	0.000	0.000	0.000
	0-2	4.090	4.200	4.300	0.000	0.000	0.000
	0-3	4.075	4.235	4.455	0.000	0.000	0.000
3	3-1	3.895	4.135	4.170	2.725	3.415	3.420
	3-2	3.910	4.200	4.400	2.730	3.485	3.605
	3-3	3.955	4.185	4.355	2.745	3.465	3.560
6	6-1	4.120	4.115	4.565	4.220	4.120	4.625
	6-2	4.100	4.285	4.605	4.205	4.295	4.675
	6-3	4.135	4.325	4.595	4.220	4.330	4.650
9	9-1	4.280	4.400	4.560	4.315	4.455	4.635
	9-2	4.275	4.385	4.575	4.305	4.425	4.655
	9-3	4.150	4.400	4.530	4.190	4.455	4.605
12	12-1	4.220	4.365	4.660	4.265	4.405	4.745
	12-2	4.185	4.325	4.665	4.245	4.365	4.765
	12-3	4.145	4.330	4.630	4.190	4.385	4.720

Analista de Laboratorio: Ing. Iván E. Vásquez Alfaro

Trujillo, 06 de Junio del 2017

ANEXO N°11. Norma Técnica de Edificación NTE E.080_2006 Adobes

310

 NORMAS LEGALES

El Peruano
Martes 23 de mayo de 2006

NORMA E.080

ADOBE

Artículo 1.- ALCANCE

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

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

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

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

Artículo 2.- REQUISITOS GENERALES

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

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

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

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

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

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

Artículo 3.- DEFINICIONES

3.1. Adobe

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

3.2. Adobe Estabilizado

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

3.3. Mortero

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

3.4. Arriostre

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

3.5. Altura Libre de Muro

Es la distancia vertical libre entre elementos de arriostre horizontales.

3.6. Largo Efectivo

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

3.7. Esbeltez

Relación entre la altura libre del muro y su espesor.

3.8. Muro Arriostrado

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

3.9. Extremo Libre de Muro

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

3.10. Vigas Collar o Soleras

Son elementos de uso obligatorio que generalmente conectan a los entresijos y techos con los muros. Adecuadamente rigidizados en su plano, actúan como elemento de arriostre horizontal (Ver Artículo 6 (6.3)).

3.11. Contrafuerte

Es un arriostre vertical construido con este único fin.

Artículo 4.- UNIDAD O BLOQUE DE ADOBE

4.1. Requisitos Generales

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

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

4.2. Formas y Dimensiones

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

Sus dimensiones deberán ajustarse a las siguientes proporciones:

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

4.3. Recomendaciones para su Elaboración

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

Mantener el suelo en reposo húmedo durante 24 horas.

Secar los adobes bajo sombra.

Artículo 5.- COMPORTAMIENTO SÍSMICO DE LAS CONSTRUCCIONES DE ADOBE

5.1. Comportamiento Sísmico de las Construcciones de Adobe

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

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

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

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

5.2. Fuerzas Sísmicas Horizontales

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

$$H = S U C P$$

Donde:

S: Factor de suelo (indicado en la Tabla 1),

U: Factor de uso (indicados en la Tabla 2),

C: Coeficiente sísmico (indicado en la Tabla 3) y

P: Peso total de la edificación, incluyendo carga muerta y el 50% de la carga viva.



TABLA 1

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

TABLA 2

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

5.3. Comportamiento del Adobe Frente a Cargas Verticales

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

TABLA 3

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

ZONAS SÍSMICAS*
FIGURA 1



* Ver Anexo

5.4. Protección de las Construcciones de Adobe

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

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

Artículo 6.- SISTEMA ESTRUCTURAL

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

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

6.1. Cimentación

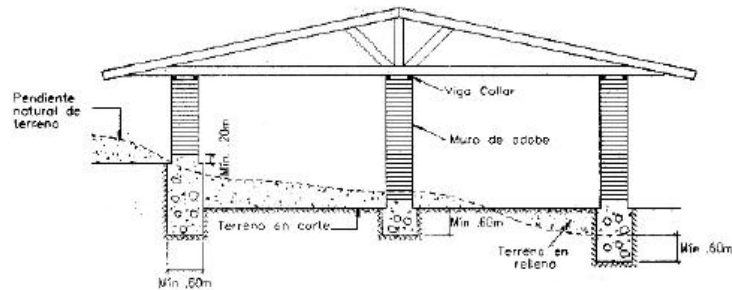
a) No se harán construcciones de adobe en suelos granulares sueltos, en suelos cohesivos blandos ni en arcillas expansivas. Tampoco en zonas propensas a inundaciones, cauces de avalanchas, aluviones o huaycos, o suelos con inestabilidad geológica.

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

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

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

FIGURA 2

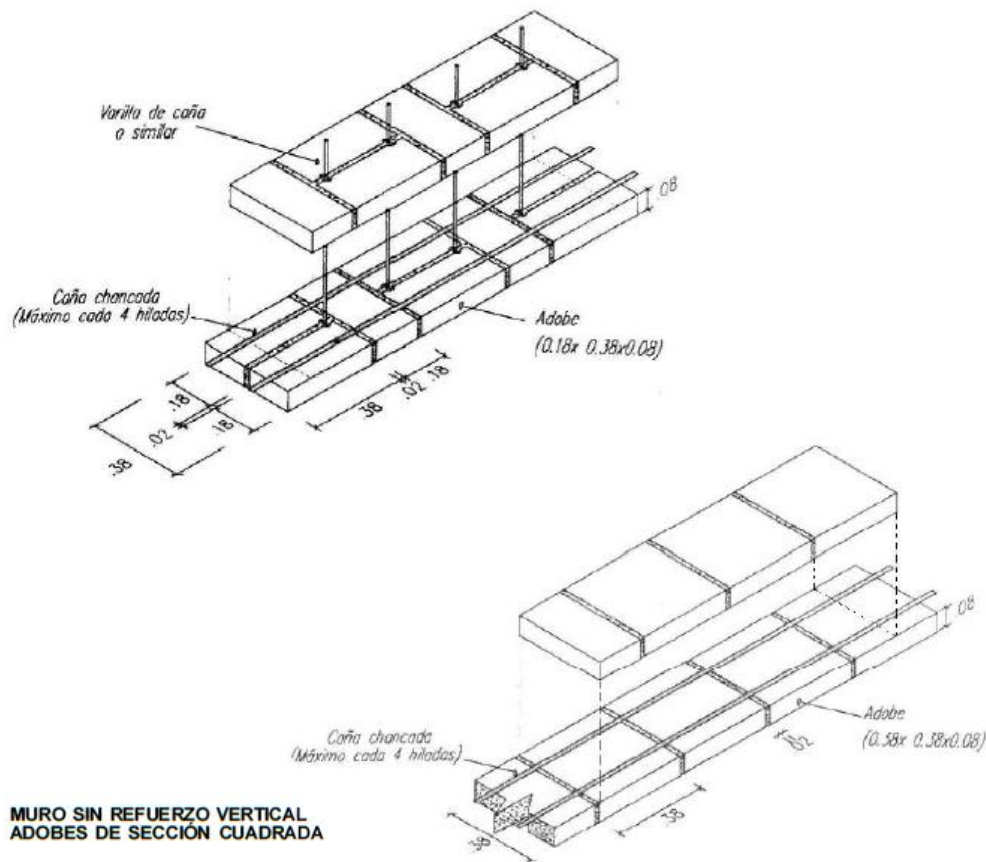


6.2. Muros

- a) Deberá considerarse la estabilidad de todos los muros. Esto se conseguirá controlando la esbeltez y utilizando arriostres o refuerzos.
- b) Las unidades de adobe deberán estar secas antes de su utilización y se dispondrá en hiladas sucesivas considerando traslapé tal como se muestra en las Figuras 3 y 4.
- c) El espesor de los muros se determinará en función de la altura libre de los mismos y la longitud máxima del muro entre arriostres verticales será 12 veces el espesor del muro. (Ver Tabla 4)
- d) En general los vanos deberán estar preferentemente centrados. El borde vertical no arriostrado de puertas y

- ventanas deberá ser considerado como borde libre.
- e) El ancho máximo de puertas y ventanas (vanos) será de 1/3 de la longitud del muro y la distancia entre el borde libre al arriostre vertical más próximo no será menor de 3 ni mayor de 5 veces el espesor del muro. Se exceptúa la condición de 3 veces el espesor del muro en el caso que el muro esté arriostrado al extremo (Ver Figura N° 5)
- f) Como refuerzo se podrá utilizar cualquier material de los especificados en la Artículo 6 (6.4).
- g) Los muros deberán ser diseñados para garantizar su resistencia, según lo especificado en la Artículo 8.
- h) En caso de muros cuyos encuentros sean diferentes a 90° se diseñarán bloques especiales detallándose los encuentros.

FIGURA 3
MURO REFORZADO CON CAÑA O SIMILAR VERTICAL Y HORIZONTAL

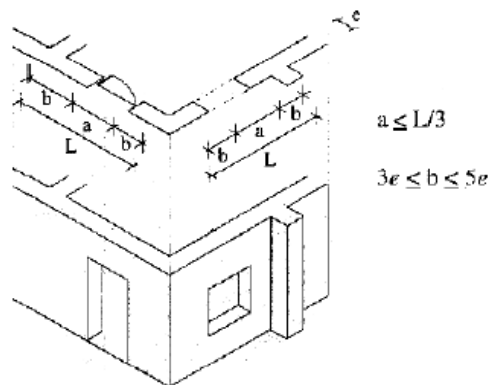


MURO SIN REFUERZO VERTICAL
ADOBES DE SECCIÓN CUADRADA

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

Tipo de encuentro	Muros Reforzados	Muros no Reforzados
En L	Primera Hilada	Primera Hilada
	Segunda Hilada	Segunda Hilada
En T	Primera Hilada	Primera Hilada
	Segunda Hilada	Segunda Hilada
En X	Primera Hilada	Primera Hilada
	Segunda Hilada	Segunda Hilada

FIGURA 5



6.3. Elementos de Arriostre

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

b) Los elementos de arriostre serán verticales y horizontales.

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

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

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

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

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

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

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

6.4. Refuerzos Especiales

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

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

TABLA 4

Esbeltez	Arriostres y Refuerzos Obligatorios	Espesor mín. Muro (m)	Altura mín. Muro (m)
$\lambda < 6$	Solera	0,4 - 0,5	2,4 - 3,0
$6 < \lambda < 8$	Solera + elementos de refuerzos horizontal y vertical en los encuentros de muros	0,3 - 0,5	2,4 - 4,0
$8 < \lambda < 9$	Solera + elementos de refuerzos horizontal y vertical en toda la longitud de los muros	0,3 - 0,5	2,7 - 4,5

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

a) Caña madera o similares

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

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

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

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

En ambos casos se rellenarán los vacíos con mortero.

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

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

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

b) Malla de alambre

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

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

c) Columnas y vigas de concreto armado

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

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

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

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

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

6.5. Techos

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

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

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

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

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

Artículo 7.- MORTEROS

Los morteros se clasificarán en dos grupos:

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

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

7.1. Mortero Tipo I

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

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

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

7.2. Mortero Tipo II

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

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

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

Artículo 8.- ESFUERZOS ADMISIBLES

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

Para fines de diseño se considerará los siguientes esfuerzos mínimos

• Resistencia a la compresión de la unidad:

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

• Resistencia a la compresión de la albañilería:

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

➤Resistencia a la compresión por aplastamiento:

$$1,25 f_m$$

➤Resistencia al corte de la albañilería:

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

8.1. Resistencia a la Compresión de la Unidad

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

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

Los ensayos se harán utilizando piezas completamente secas, siendo el valor de f'_c mínimo aceptable de 12 kg/cm².

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

8.2. Resistencia a la Compresión de la Albañilería

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

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

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

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

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

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

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

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

Donde:

f'_m = esfuerzo de compresión último de la pila

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

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

8.3. Esfuerzo Admisible de Compresión por Aplastamiento

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

8.4 Resistencia al Corte de la Albañilería

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

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

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

Se ensayarán un mínimo de tres (3) especímenes.

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

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

Donde:

f'_t = esfuerzo último del murete de ensayo.

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

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

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

Artículo 9.- DISEÑO DE MUROS

9.1. Diseño de Muros Longitudinales

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

FIGURA 6 ENSAYO DE COMPRESIÓN AXIAL

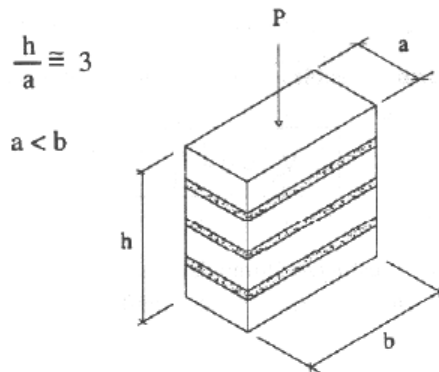
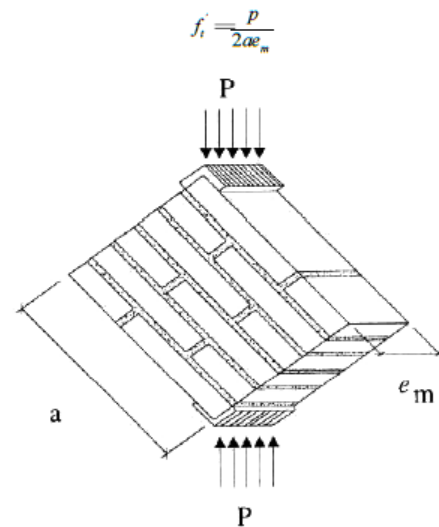


FIGURA 7 ENSAYO DE COMPRESIÓN DIAGONAL



ANEXO

ZONIFICACIÓN SÍSMICA

Las zonas sísmicas en que se divide el territorio peruano, para fines de esta Norma se muestran en la Figura 1.

A continuación se especifican las provincias de cada zona.

Zona 1

1. Departamento de Loreto. Provincias de Ramón Castilla, Maynas, y Requena.

2. Departamento de Ucayali. Provincia de Purús.

3. Departamento de Madre de Dios. Provincia de Tahuamanú.

Zona 2

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

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

Zona 3

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