

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO
FACULTAD DE ARQUITECTURA E INGENIERÍA CIVIL
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



**“EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE MUROS TIPO TAPIAL
PARA VIVIENDAS ECONOMICAS CON PRESENCIA DE HILADAS DE MORTERO
DE CEMENTO – ARENA, EN LA A.P.V. AYUDA MUTUA, 2017”**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE
INGENIERO CIVIL**

PRESENTADO POR:

Bach. WILFREDO CHUQUI PAUCAR

Bach. RONALD AUGUSTO CHALLCO RUELAS

CUSCO – PERÚ

2018

RESUMEN

En la presente investigación se evalúan las propiedades mecánicas, compresión axial y esfuerzo de corte, de las viviendas construidas con la técnica del tapial en la A.P.V. Ayuda Mutua – Cusco.

La investigación se basa en el estudio de las propiedades del suelo del sector A.P.V. Ayuda Mutua, como granulometría, límites de consistencia (límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad), densidad seca máxima, contenido óptimo de agua y peso específico, asegurando un correcto conocimiento base del material, del mismo modo se clasifica la mezcla de suelo – agregado que es la muestra de trabajo con la que se realiza los especímenes.

Esta investigación se realiza con el fin de determinar la variación de las propiedades mecánicas en las dos alternativas propuestas (tapial típico y tapial reforzado con hiladas de mortero de cemento – arena) se realizan ensayos de laboratorio sobre especímenes a escala de diferentes dimensiones y configuraciones. En general se caracteriza el material que compone el tapial en base a las propiedades de compresión axial y tracción o corte, y se estudian experimentalmente las dos alternativas propuestas.

Este estudio presenta los principales resultados de la investigación que busca determinar si el refuerzo de hiladas de mortero de cemento – arena con una dosificación en volumen de 1:4, tiene una influencia importante sobre el comportamiento mecánico del tapial.

ABSTRACT

In this research we evaluate the mechanical properties, axial compression and cutting strain, of the houses built with the technique of rammed earth in the A.P.V. Ayuda Mutua – Cusco.

The research is based on the study of the soil properties of Sector A.P.V. Ayuda Mutua, as granulometry, limits of consistency (liquid limit, plastic limit and plasticity index), maximum dry density, optimum water content and specific weight, ensuring a correct knowledge base of the material, in the same way is classified the soil-aggregate mix that is the work sample with which the specimens are made.

This investigation is carried out with the purpose of determining the variation of the mechanical properties in the two proposed alternatives (typic rammed earth wall and rammed earth wall reinforced with layers of cement-sand mortar) laboratory tests are carried out on specimens at scale of different dimensions and configurations. In general, the material that composes the mud wall is characterized based on the properties of axial compression and traction or cutting, and the two proposed alternatives are studied experimentally.

This study presents the main results of the research that seeks to determine if the reinforcement of cement-sand mortar courses with a volume dosage of 1:4, has an important influence on the mechanical behavior of the rammed earth.

DEDICATORIA

A mis padres Bernardino y Rosaura, por haberme forjado como la persona que soy en la actualidad, y por darme todo su apoyo para conseguir este importante logro en mi vida. Me formaron con valores, reglas y algunas libertades, sin embargo siempre me motivaron constantemente para alcanzar mis metas.

A mis amores, Dayana y Yafred, quienes son una motivación fundamental para mi vida.

A toda mi familia que es lo mejor y más valioso que Dios me ha dado.

A mis amigos por permitirme aprender más de la vida a su lado.

Wilfredo

A dios por haberme permitido llegar hasta este punto y haberme dado salud para lograr mis objetivos.

A mi padre por los ejemplos de perseverancia y constancia que lo caracterizan y que me ha infundado siempre, por el valor mostrado para salir adelante y por su amor.

A mi madre Por haberme apoyado en todo momento, por sus consejos, sus valores, por la motivación constante que me ha permitido ser una persona de bien, pero más que nada, por su amor.

A mis amigos que sin esperar nada a cambio compartieron sus habilidades y conocimientos conmigo, a las personas que me encaminan y ayudan a hacer realidad mis sueños, en especial a mi familia por darme la oportunidad de seguir adelante

Ronald

AGRADECIMIENTO

Expresar nuestro profundo agradecimiento y reconocimiento Al Ing. Américo Montañez Tupayachi por la disposición de su tiempo, paciencia y colaboración durante el desarrollo del trabajo de investigación.

A los Docentes de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco, por su dedicación a la docencia y por la labor que desempeñaron en nuestra formación.

CONTENIDO

CAPÍTULO I	PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.....	1
1.1	IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA.....	1
1.2	FORMULACIÓN DEL PROBLEMA OBJETO DE INVESTIGACIÓN.....	1
1.2.1	Problema general.....	1
1.2.2	Problema específico.....	1
1.3	OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN.....	2
1.3.1	Objetivo general.....	2
1.3.2	Objetivos específicos.....	2
1.4	JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA DE LA INVESTIGACIÓN.....	2
1.5	DELIMITACIÓN.....	3
1.6	LIMITACIONES.....	3
1.7	FORMULACIÓN DE LA HIPÓTESIS.....	4
1.7.1	Hipótesis general.....	4
1.7.2	Hipótesis específicos.....	4
1.8	OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES.....	4
CAPÍTULO II	ANTECEDENTES Y MARCO TEÓRICO	5
2.1	ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN.....	5
2.1.1	Antecedentes internacionales.....	6
2.1.2	Antecedentes nacionales.....	6
2.2	MARCO TEÓRICO.....	7
2.2.1	Construcción con tierra.....	7
2.2.1.1	Técnica de construcción con adobe.....	8
2.2.1.2	Técnica de construcción con tapial.....	9
2.2.1.3	Componentes del tapial.....	10
2.2.1.4	Refuerzos del tapial.....	17
2.2.1.5	Ventajas y desventajas de la construcción con tapial.....	19
2.2.1.6	Comportamiento estructural del tapial.....	22
2.2.1.7	Mecanismos de falla en las construcciones con tapial.....	23
2.2.1.8	Propiedades físico – mecánicas del tapial.....	27
CAPÍTULO III	METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN	29
3.1	TIPO DE INVESTIGACIÓN.....	29
3.2	NIVEL DE INVESTIGACIÓN.....	29
3.3	DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN.....	29
3.3.1	Tipo de diseño.....	31
3.3.2	Tamaño de muestra.....	31
3.3.3	Extracción de muestra.....	32
3.3.4	Caracterización de los materiales.....	33
3.3.4.1	Suelo.....	33
3.3.4.2	Agregado.....	37
3.3.4.3	Arena.....	40
3.3.4.4	Mezcla de suelo – agregado.....	42
3.3.5	Elaboración de especímenes.....	46

3.3.5.1	Pilas de albañilería – tapial	47
3.3.5.2	Muretes de albañilería – tapial	54
3.3.6	Ensayos de laboratorio	57
3.3.6.1	Pilas de albañilería – tapial	57
3.3.6.2	Muretes de albañilería – tapial	59
CAPÍTULO IV PROCESAMIENTO DE DATOS Y OBTENCIÓN DE RESULTADOS		64
4.1	PILAS DE ALBAÑILERÍA – TAPIAL	64
4.1.1	Densidad	64
4.1.2	Contenido de humedad	65
4.1.3	Proceso de secado	68
4.1.4	Resistencia a compresión axial	69
4.1.5	Módulo de elasticidad	71
4.1.6	Formas de fallas en pilas	73
4.2	MURETES DE ALBAÑILERÍA – TAPIAL	74
4.2.1	Densidad	74
4.2.2	Contenido de humedad	76
4.2.3	Proceso de secado	79
4.2.4	Esfuerzo de corte	80
4.2.5	Módulo de corte	81
4.2.6	Formas de fallas en muretes	85
CAPÍTULO V ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS		87
5.1	ANÁLISIS DE RESULTADOS EN PILAS DE ALBAÑILERÍA	87
5.1.1	Análisis comparativo de la densidad	87
5.1.2	Análisis comparativo de la resistencia a la compresión axial	89
5.1.3	Análisis comparativo del módulo de elasticidad	90
5.2	ANÁLISIS DE RESULTADOS EN MURETES DE ALBAÑILERÍA	90
5.2.1	Análisis comparativo de la densidad	90
5.2.2	Análisis comparativo del esfuerzo cortante	92
5.2.3	Análisis comparativo del módulo de corte	92
5.3	ANÁLISIS DE RESULTADOS RESPECTO A NORMAS Y OTRAS INVESTIGACIONES	93
5.4	COMPARACIÓN DE COSTOS ENTRE EL TAPIAL Y ADOBE	95
CAPÍTULO VI CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		96
6.1	CONCLUSIONES	96
6.2	RECOMENDACIONES	97
CAPÍTULO VII REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS		99
CAPÍTULO VIII ANEXOS		101
CAPÍTULO IX PANEL FOTOGRÁFICO		128

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Operacionalización de variables.....	4
Tabla 2 Composición granulométrica de la tierra para la fabricación de adobe	9
Tabla 3 Porcentajes establecidos para la granulometría del tapial	12
Tabla 4 Límite líquido e índice de plasticidad para la construcción con tapial.....	13
Tabla 5 Proporción volumétrica del mortero para muros portantes	18
Tabla 6 Granulometría de la arena gruesa para morteros	19
Tabla 7 Emisiones de CO ₂ de los distintos materiales convencionales.....	20
Tabla 8 Tamaño de muestra para tapial típico y reforzado	32
Tabla 9 Contenido de humedad de la muestra de suelo	34
Tabla 10 Peso específico del suelo	34
Tabla 11 Peso unitario compactado del agregado fino	38
Tabla 12 Peso unitario compactado del agregado grueso.....	38
Tabla 13 Peso específico y absorción del agregado fino.....	39
Tabla 14 Peso específico y absorción del agregado grueso.....	40
Tabla 15 Peso específico y absorción de la mezcla de arena y confitillo.....	41
Tabla 16 Contenido de humedad de la muestra de trabajo.....	43
Tabla 17 Parámetros para la construcción con tapial	46
Tabla 18 Densidad de elaboración y densidad de ensayo en el tapial típico.....	64
Tabla 19 Densidad de elaboración y densidad de ensayo en el tapial reforzado.....	65
Tabla 20 Contenido de humedad en la construcción de las pilas típicas.....	66
Tabla 21 Contenido de humedad remanente en las pilas típicas	66
Tabla 22 Contenido de humedad en la construcción de las pilas reforzadas	67
Tabla 23 Contenido de humedad remanente en las pilas reforzadas.....	67
Tabla 24 Resultados del ensayo de compresión axial en pilas típicas.....	70
Tabla 25 Resultados del ensayo de compresión axial en pilas reforzadas	70
Tabla 26 Módulo de elasticidad del tapial típico.....	72
Tabla 27 Módulo de elasticidad del tapial reforzado	72
Tabla 28 Densidad de elaboración y densidad de ensayo en los muretes típicos.....	75
Tabla 29 Densidad de elaboración y densidad de ensayo en muretes reforzados	76
Tabla 30 Contenido de humedad en la construcción de muretes típicos.....	77
Tabla 31 Contenido de humedad en la construcción de muretes reforzados.....	77
Tabla 32 Contenido de humedad remanente en muretes típicos	78
Tabla 33 Contenido de humedad remanente en muretes reforzados	78
Tabla 34 Resultados del ensayo de compresión diagonal en muretes típicos	80
Tabla 35 Resultados del ensayo de compresión diagonal en muretes reforzados.....	81
Tabla 36 Módulo de corte del tapial típico.....	84
Tabla 37 Módulo de corte del tapial reforzado.....	84
Tabla 38 Clasificación de suelos en estudios realizados por diferentes universidades..	87
Tabla 39 Propiedades mecánicas del tapial determinados por diversos autores	94
Tabla 40 Costo por M ² de la construcción de muro de adobe y tapial	95

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Prueba de campo “presencia de arcilla”.....	14
Figura 2. Prueba de campo "cinta de barro"	15
Figura 3. Prueba del contenido de humedad en campo.	16
Figura 4. Colocación y traslape de mallas.	17
Figura 5. Tapial reforzado con eucalipto.....	18
Figura 6. Tipos de falla y agrietamientos asociados con fuerzas sísmicas	25
Figura 7. Falla por flexión.	25
Figura 8. Falla por corte.	26
Figura 9. Falla por volteo.	26
Figura 10. Ensayo de compresión en pilas.	28
Figura 11. Ensayo de compresión diagonal o tracción indirecta.	28
Figura 12. Ubicación de la muestra de trabajo.	33
Figura 13. Limite líquido, plástico e índice de plasticidad de la muestra de suelo.	35
Figura 14. Curva de distribución granulométrica de la muestra de suelo.	36
Figura 15. Curva de compactación de la muestra de suelo.	37
Figura 16. Curva de distribución granulométrica de la arena - cantera de Cunyac.....	41
Figura 17. Curva de distribución granulométrica de la mezcla de arena y confitillo.	42
Figura 18. Limite líquido, plástico e índice de plasticidad de la muestra de trabajo.	44
Figura 19. Curva de distribución granulométrica de la muestra de trabajo.....	45
Figura 20. Curva de compactación de la muestra de trabajo.....	46
Figura 21. Configuración dimensional de las pilas típicas de tapial.	47
Figura 22. Configuración dimensional de las pilas reforzadas de tapial.	48
Figura 23. Elevación frontal y lateral del encofrado para la construcción de pilas.....	49
Figura 24. Preparación de la tierra con la adición de agregado grueso y confitillo.	50
Figura 25. Compactador neumático de aguja.	51
Figura 26. Acciones para verificar la verticalidad del molde, esparcir y compactar la mezcla de tierra - agregado.....	52
Figura 27. Hiladas de mortero de cemento - arena (1:4).	53
Figura 28. Preparación del mortero y construcción de hiladas en las juntas del tapial. .	53
Figura 29. Proceso de secado de los especímenes.....	54
Figura 30. Configuración dimensional del murete de tapial típico.	55
Figura 31. Configuración dimensional del murete de tapial reforzado.	55
Figura 32. Máquina de compresión diagonal.	56
Figura 33. Elevación frontal y lateral del encofrado para la construcción de muretes...	56
Figura 34. Instrumentación del ensayo de compresión axial.....	57
Figura 35. Instrumentación del ensayo de compresión diagonal.....	60
Figura 36. Pérdida de peso en función del tiempo de secado del tapial típico.....	68
Figura 37. Pérdida de peso en función del tiempo de secado en el tapial reforzado.	69
Figura 38. Grafico carga - desplazamiento vertical en pilas típicas.	71
Figura 39. Grafico carga - desplazamiento vertical en pilas reforzadas.....	71
Figura 40. La pila (PT-5) presenta una falla dúctil.....	73
Figura 41. La pila (PR-3) presenta una falla dúctil con desprendimiento de partículas.	74

Figura 42. Pérdida de peso en función del tiempo de secado en el tapial típico.	79
Figura 43. Pérdida de peso en función del tiempo de secado en el tapial reforzado.	79
Figura 44. Grafico tiempo vs desplazamiento de los muretes típicos.	82
Figura 45. Grafico tiempo vs desplazamiento de los muretes reforzados.	83
Figura 46. Falla por tracción diagonal en el murete cuadrado reforzado (MR-5).....	85
Figura 47. Falla por tracción diagonal en el murete cuadrado típico (MT-8)	85
Figura 48. Falla mixta en el murete cuadrado típico (MT-1)	86
Figura 49. Falla mixta en el murete cuadrado reforzado (MR-7).....	86
Figura 50. Densidad de elaboración del tapial típico y tapial reforzado.	88
Figura 51. Densidad de ensayo del tapial típico y tapial reforzado.....	88
Figura 52. Resistencia a compresión axial del tapial típico y tapial reforzado.	89
Figura 53. Módulo de elasticidad del tapial típico y tapial reforzado.	90
Figura 54. Densidad de elaboración del tapial típico y tapial reforzado.	91
Figura 55. Densidad de ensayo del tapial típico y tapial reforzado.....	91
Figura 56. Resistencia a esfuerzo cortante del tapial típico y tapial reforzado.	92
Figura 57. Módulo de corte del tapial típico y tapial reforzado.	93

CAPÍTULO I

PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1 PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1 IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA

El uso actual del tapial en el país, se da como solución posible de construcción de viviendas, especialmente en los sectores rurales, razón por la cual se pone énfasis en caracterizar las propiedades mecánicas del tapial que son importantes para el diseño estructural de las viviendas y su vulnerabilidad sísmica. Generalmente las construcciones con tapial presentan una adecuada resistencia a la compresión, en estudios realizados en Colombia se ensayaron muretes de tapial (50x25x50 cm) obteniendo el valor promedio para el esfuerzo a compresión de 6 Kg/cm² y ensayos realizados en la UPC (Tejada Schmidt, Mendoza García, & Torrealva Dávila, 2013) en muretes de 28x20x39 cm se obtuvo un esfuerzo a compresión de 11.78 kg/cm², esto significa que un muro de 4 m de longitud con un espesor de 40 cm soporta una carga máxima de 188 ton, lo que les permite soportar cargas de gravedad sin dificultad, sin embargo cuando tienen que soportar las cargas horizontales de sismo, su resistencia depende principalmente de su capacidad de absorber esfuerzos de corte que definitivamente tienen valores bajos, en el mismo estudio de la UPC se obtuvo un esfuerzo cortante promedio del tapial que fue de 1.685 kg/cm², esto significa que para un muro de 4 m de longitud y 3 m de altura soporta una fuerza sísmica horizontal en la base de 0.20 ton. Es por esta razón que se propone añadir hiladas de mortero de cemento – arena, como refuerzo para muros de tapial, con la finalidad de mejorar las propiedades mecánicas (compresión axial y compresión diagonal) sin alterar significativamente el proceso constructivo tradicional.

1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA OBJETO DE INVESTIGACIÓN

1.2.1 Problema general

1. ¿Cuál es la influencia que tienen las hiladas de mortero de cemento – arena, con una dosificación en volumen de 1:4 en las juntas, respecto a las propiedades mecánicas de los muros tipo tapial utilizadas en viviendas económicas de la A.P.V. Ayuda Mutua de la ciudad del Cusco, en el periodo Abril – Diciembre 2017?

1.2.2 Problema específico

1. ¿El refuerzo de hiladas de mortero de cemento – arena con una dosificación en volumen de 1:4 en las juntas, con respecto a tapias típicas, tiene incidencia en la resistencia a la compresión axial?

2. ¿El refuerzo de hiladas de mortero cemento – arena con una dosificación en volumen de 1:4 en las juntas, con respecto a tapias típicos, tiene incidencia en la resistencia a la compresión diagonal?

1.3 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.3.1 Objetivo general

1. Determinar si el refuerzo de hiladas de mortero de cemento – arena con una dosificación en volumen de 1:4 en las juntas, utilizadas en muros de tapial tienen influencia en las propiedades mecánicas de compresión axial y compresión diagonal, respecto al muro típico de tapial, en viviendas construidas en la A.P.V Ayuda Mutua de la ciudad del Cusco el 2017.

1.3.2 Objetivos específicos

1. Determinar el valor de la resistencia a compresión axial de muros tipo tapial típico (sin refuerzo de hiladas de mortero de cemento – arena).
2. Determinar el valor de la resistencia a compresión axial de muros tipo tapial reforzado con hiladas de mortero de cemento – arena en una dosificación en volumen de 1:4, en las juntas.
3. Determinar el valor de la resistencia a compresión diagonal de muros tipo tapial típico (sin refuerzo de hiladas de mortero de cemento – arena).
4. Determinar el valor de la resistencia a compresión diagonal de muros tipo tapial reforzado con hiladas de mortero de cemento – arena en una dosificación en volumen de 1:4, en las juntas.

1.4 JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA DE LA INVESTIGACIÓN

En el Perú los sistemas de construcción con tierra tienen un bajo impacto ambiental y un fácil acceso a la materia prima, por lo que estos sistemas constructivos representan una solución para las viviendas de los sectores rurales de bajos recursos económicos.

A nivel nacional son pocas las instituciones (PUCP y SENCICO anteriormente ININVI) que han realizado investigaciones sobre el tema tapial, más aun sobre la determinación de las propiedades mecánicas de este sistema constructivo, y cada estudio realizado tiene particularidades diferentes; en las características de los suelos, las proporciones de la mezcla (arcilla, grava de diversas granulometrías y diferentes estabilizantes) y los especímenes ensayados, por estas razones en las pocas investigaciones realizadas se han encontrado diferentes resultados que caracterizan las propiedades mecánicas del tapial.

La poca existencia de estudios, investigaciones y tesis a nivel local sobre el tema tapial, condujo a considerar importante estudiar las propiedades mecánicas de tapiales (con el refuerzo de hiladas de mortero de cemento – arena, en la A.P.V. Ayuda Mutua) en Cusco. La investigación contribuirá a tener un mayor conocimiento de las propiedades mecánicas de tapiales con las características propias del sector A.P.V. Ayuda Mutua – Cusco, lo que permitirá contrastar con otras investigaciones realizadas a nivel local, nacional e internacional.

1.5 DELIMITACIÓN

1. Las propiedades mecánicas del tapial van a ser determinadas mediante la construcción de especímenes de pilas de sección 300x400 mm y muretes de sección 400x400 mm, con un único espesor de 150mm.
2. El tipo de suelo utilizado será específicamente extraído de la obra: “Guardería de Niños en la A.P.V. Ayuda Mutua, Cusco, 2017” ubicado en la A.P.V. Ayuda Mutua – Cusco.
3. Se usará la Máquina Universal de Ensayos (Mecánica de Suelos y materiales de la escuela profesional de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco) y el equipo de compresión diagonal del laboratorio de GEOTEST, para realizar los ensayos correspondientes.

1.6 LIMITACIONES

El tapial que se evalúa en la presente investigación es una mezcla de grava, suelo, agua y opcionalmente aditivos y que alcanza una resistencia a la compresión axial y diagonal determinada a la edad de 28 días.

Para la investigación consideraremos constante la resistencia del suelo extraído de la Obra: “Guardería de Niños en la A.P.V. Ayuda Mutua, Cusco, 2017” ubicado en la A.P.V. Ayuda Mutua, las propiedades químicas del agua y su temperatura, siendo la única variación el refuerzo de hiladas de mortero de cemento – arena en las juntas del tapial.

La metodología de ensayo para determinar la resistencia a compresión axial y diagonal está basada en el tiempo que establece la norma **E.080 “Diseño y Construcción con Tierra Reforzada”**.

1.7 FORMULACIÓN DE LA HIPÓTESIS

1.7.1 Hipótesis general

1. Los resultados de las pruebas de compresión axial y diagonal en muros de tapial tanto en pilas y muretes respectivamente con el refuerzo de hiladas de mortero de cemento – arena cuya dosificación en volumen es de 1:4, propuesto por la tesis: “Evaluación de las propiedades mecánicas de muros tipo tapial con presencia de hiladas de mortero de cemento – arena, utilizadas en viviendas económicas de la A.P.V. Ayuda Mutua el año 2017, Cusco”, permite obtener valores superiores de esfuerzo de compresión axial y diagonal, en comparación con los muros típicos de tapial.

1.7.2 Hipótesis específicos

1. El refuerzo de hiladas de mortero de cemento – arena con una dosificación en volumen de 1:4, en los muros de tapial hace que mejore la resistencia a compresión axial con respecto a la resistencia a compresión axial de tapias típicos.
2. El refuerzo de hiladas de mortero de cemento – arena con una dosificación en volumen de 1:4, en los muros de tapial hace que mejore la resistencia a compresión diagonal con respecto a la resistencia a compresión diagonal de tapias típicos.

1.8 OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

La variable es operacionalizada con el objetivo de tener una conceptualización clara de dicha variable, esto se hace mediante instrumentos que nos permitan observar y/o determinar los indicadores de cada variable, es decir, se someten a determinadas “pruebas empíricas” por medio de la medición directa o indirecta.

Tabla 1 Operacionalización de variables

VARIABLE	INDICADOR	MEDICIÓN	RANGO VARIABILIDAD
VARIABLE INDEPENDIENTE (X): Viviendas de tapial.	Tapial típico	Características	Pilas - Muretes
	Tapial reforzado	Características	Pilas - Muretes
VARIABLES DEPENDIENTES (Y): Resistencia a la compresión axial	Esfuerzo de compresión axial	Kg-f/cm ²	-----
	Resistencia a la compresión diagonal	Esfuerzo cortante	Kg-f/cm ²

Fuente: elaboración propia

CAPÍTULO II

ANTECEDENTES Y MARCO TEÓRICO

2 ANTECEDENTES Y MARCO TEÓRICO

2.1 ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

El uso del tapial se remonta a muchos años atrás; alrededor de 5000 A.C., y este patrimonio arquitectónico se encuentra en el Oriente, en Asia, en África, Europa (países como Francia, Alemania y España) y, ejemplos más recientes, en el Continente Americano. En general el uso de la tierra compactada es, a nivel mundial, muy empleado hasta nuestros días. Aproximadamente un tercio de la población del planeta vive en construcciones de tierra. (Neves & Faria, 2011, pág. 46)

La construcción con tierra en el Perú comenzó en la costa en épocas preincaicas; Se estima que se comienza a construir con la técnica del Tapial entre el 800 y 1200 d.C. (considerada la época de las Formaciones Urbanas), en el valle del Rímac donde se encuentra Cajamarquilla, asentamiento de influencia Huari (Vildoso & Monson, 1984, pág. 21) El Padre Bernabe Cobo (1613) hace un comentario sobre como construían la tapia los antiguos peruanos.

“No hacia antiguamente los indios estas tapias como nosotros, de tierra suelta un poco húmeda, sino de barro bien amasado y blando, como hacemos nosotros los adobes. Sacábanlas muy derechas y lisas porque arrimaban a los lados en lugar de tapias de madera, mantas y cañizos, y luego las enlucían con el mismo barro. Deste linaje de tapias son los muchos paredones antiguos de que está lleno todo este valle de Lima, por donde sacamos su forma y hechura” (Cobo. 1956 Lib. 14, Cap. III p. 241, citado en Vildoso & Monson, 1984)

En la sierra era predominantemente las construcciones con piedra; los sistemas de construcción con tierra fueron objeto de cambios profundos en su arquitectura con la llegada del dominio español y también su empleo se adoptó en la sierra peruana.

En nuestro país existen monumentos históricos donde se empleó la técnica del tapial para sus edificaciones, como son la ciudad de Chan Chan (Trujillo) y la Huaca de la Centinela en Chíncha, así como en las zonas arqueológicas: Huaca Pro, Huaycan de Pariachi, Mangamarca y Carapongo B.; y la fortaleza de campoy ubicadas en Lima (Tejada Schmidt, Mendoza García, & Torrealva Dávila, 2013, págs. 9-10)

Las construcciones con tierra últimamente son de interés para investigadores a nivel mundial debido principalmente a consideraciones ambientales. Actualmente el tapial es una segunda alternativa importante de construcción de viviendas después del adobe en la serranía peruana, principalmente en los sectores rurales.

2.1.1 Antecedentes internacionales

En el año 2007 en el artículo de investigación de la revista APUNTES (Vol. 20, num. 2, 286-303, Noviembre 2007): “Estudios de vulnerabilidad sísmica, rehabilitación y refuerzo de casas en adobe y tapia pisada” (Colombia), orientada a conocer el comportamiento de esta tipología constructiva en su estado actual y proponer alternativas de rehabilitación sísmica viables desde el punto de vista técnico. Se hicieron ensayos de laboratorio en la que se caracterizó el material que compone el adobe y la tapia pisada (compresión, flexión y compresión diagonal). Los ensayos se realizaron en la Universidad de los Andes, Bogotá, Colombia, en muretes de tapial (50x25x50 cm) el valor promedio para el esfuerzo a compresión fue de 6 Kg/cm².

En el 2011 en los informes de la construcción (Vol. 63, 523, 5 – 20, Julio – Septiembre 2011): “Construcción con tierra en el siglo XXI” (España), aportando datos técnicos de su utilización en proyectos arquitectónicos contemporáneos. Es importante señalar que en este estudio en el año de 1999 se llevaron a cabo ensayos por el artista y constructor Martin Rauch en la reconstrucción de la Capilla de la Reconciliación, Berlín, Alemania, donde la mezcla utilizada en los muros fue de arcilla y gravas de diversas granulometrías con un pequeño porcentaje de fibras de lino añadidas, obteniendo una resistencia a la compresión de 3.2 N/mm² (32.63 kgf/cm²) y su resistencia a cortante de 0.79 N/mm² (8.06 kgf/cm²).

En el año 2013 en el artículo de investigación de la revista de la facultad de ingeniería, de la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia (Vol. 22, No. 35, pp. 47-59, Julio – Diciembre 2013): “Experimentación, comportamiento y modelación de la tapia pisada”, este artículo presenta los principales resultados de una investigación que busca determinar las propiedades físico-mecánicas de la tapia pisada y el comportamiento de los elementos estructurales que constituyen una construcción en tapia pisada, con los cuales se verificó y validó un modelo matemático para determinar el grado de vulnerabilidad del Complejo Histórico Gran Convención (Ocaña, Norte de Santander), usando técnicas de modelación en elementos finitos. Las propiedades mecánicas de la tapia pisada fueron determinadas mediante la construcción de especímenes de 250x500x500 mm. El esfuerzo a la compresión promedio a los 28 días fue de 0.17 MPa (1.7 Kg/cm²) y la resistencia máxima a corte promedio para la tapia pisada ensayada fue de 0.022 MPa (0.22 Kg/cm²), con un coeficiente de variación de 9.9 %.

2.1.2 Antecedentes nacionales

A partir del año de 1986 se hicieron estudios sobre el sistema de construcción tapial, es así que el Instituto de Investigación y Normalización de la Vivienda ININVI (el año de 1995 el

SENCICO asume las funciones de investigar y normalizar, absorbiendo al ININVI) en colaboración con la PUCP realizó estudios sobre el tapial para obtener un mejor conocimiento del sistema y en particular de su comportamiento estructural. Un primer estudio sobre las posibilidades de reforzamiento de los tapiales utilizando cañas como elementos de refuerzo y también maderas rollizas de eucalipto. Posteriormente, en un segundo estudio, fueron realizados ensayos en la mesa vibratoria del laboratorio de estructuras de la PUCP lo que permitió la adquisición de conocimientos del comportamiento dinámico de los muros de tapial.

En el 2013 se realizó la más reciente investigación con el sistema de tapial, ha sido la denominada “Ensayos de Tapial Mejorado”, que comprendió ensayos físicos del material (suelo), mecánicos de compresión axial y diagonal en prismas (pilas y muretes) y dinámicos de simulación sísmica en un módulo de vivienda a escala natural. Esta investigación fue realizada mediante un convenio entre la PUCP y SENCICO.

Los ensayos se realizaron en la PUCP, y se estableció que la resistencia a compresión axial del tapial mejorado, obtenida al ensayar muretes (28x20x39 cm) es de 11.78 kg/cm² y el esfuerzo cortante promedio del tapial fue de 1.685 kg/cm².

El 2013 el SENCICO realizó estudios sobre el tapial mejorado con cal hidratada y cemento para obtener un mejor conocimiento de las características mecánicas, que comprendió ensayos mecánicos de compresión axial y diagonal en prismas (cubos, muretes y muros).

El año 2017 se hace la actualización de la Norma E.080 Adobe, bajo la denominación de Norma E.080 Diseño y Construcción con Tierra Reforzada, el cual tiene como uno de sus principales aportes la inclusión de la tecnología constructiva: Tapial, dicho documento normaliza los ensayos de laboratorio, así como nos dan esfuerzos últimos o admisibles mínimos para la construcción con tierra.

Como se aprecia los resultados obtenidos de diversas fuentes son muy variables, debido a múltiples factores que es difícil de dilucidar, motivo por el cual es necesario realizar ensayos que conduzcan a disponer de valores confiables para la A.P.V. Ayuda Mutua – Cusco.

2.2 MARCO TEÓRICO

2.2.1 Construcción con tierra

No ha sido posible resolver los inmensos requerimientos de hábitat en los países en vías de desarrollo con materiales industrializados como ladrillo, concreto y acero, ni con técnicas de producción industrializadas. No existen en el mundo las capacidades productivas y financieras para satisfacer esta demanda. Las necesidades de hábitat en los países en vías de

desarrollo solo se pueden encarar utilizando materiales de construcción locales y técnicas de autoconstrucción. (Minke, 2005, pág. 13)

La tierra sigue siendo uno de los materiales de construcción más importante y abundante en las poblaciones rurales del Perú, según Célia Neves (2009) “La tierra es objetivo de los investigadores que buscan el avance de la tecnología, mediante el rescate y el conocimiento de las técnicas utilizadas en el pasado, al igual que el desarrollo de sistemas constructivos innovadores y coherentes, caracterizados por la simplicidad, la eficacia y el bajo costo”.

Las técnicas de construcción con tierra tienen similitudes de una región a otra, sin embargo cada una tiene particularidades y características que la hacen propias de la región, según Minke (2005) “Técnicas de construcción con tierra recientemente desarrolladas demuestran el valor de la tierra no solo para la autoconstrucción sino también para la construcción industrializada a cargo de contratistas”.

2.2.1.1 Técnica de construcción con adobe

Según la definición de la Norma Peruana NTE E.080 (2017) “Es una técnica de construcción que utiliza muros de albañilería de adobes secos asentados con mortero de barro”.

Es una técnica constructiva que emplea unidades de adobe, para la construcción de muros de viviendas, para el asentado del adobe se utiliza un mortero de tierra y paja, con tecnologías constructivas que varían de acuerdo a las capacidades de la región. El material con el que se fabrica el adobe es básicamente tierra, agua y paja.

A) Tipos de tierra

Para fabricar adobes es recomendable el uso de tierra areno-arcillosa con poco limo. Si la tierra tiene mucha arcilla, aumenta el riesgo de fisuración al secarse; si tiene demasiada arena o limo, puede carecer de cohesión interna adecuada y desgranar fácilmente, además de que disminuye su resistencia a compresión.

La norma peruana NTE E.080 (2006) propone los siguientes porcentajes en volumen para la tierra: arcilla – 10% a 20%, limo – 15% a 25% y arena – 55% a 70%.

Hay gran diversidad de opiniones en cuanto a los porcentajes adecuados de cada componente (arcilla-limo-arena-grava) y algunos autores establecen valores sólo para cantidad de arcilla. En general los datos se basan en estudios de caso en distintos países y con distintas tierras.

Tabla 2 Composición granulométrica de la tierra para la fabricación de adobe

Autores	Arcilla (%)	Limo (%)	Arena (%)
Barrios et al (1987)	35 - 45		55 - 65
Houben y Guillaud (1994)	5 - 29	-	-
Graham Mc Henry (1996)	15 - 25	-	-
HB 195 (2002)	10 - 40	10 - 30	30 - 75 (arena y grava)

Fuente: Neves & Faria, 2011

2.2.1.2 Técnica de construcción con tapial

La técnica del tapial se define como tierra amasada y apisonada en un encofrado para formar muros monolíticos (Maldonado, Vela Cossio, & Hoz, 2003, pág. 13)

El Tapial es el Proceso tradicional de construcción con tierra que utiliza tierra húmeda vertida en moldes firmes, para ser compactada por capas utilizando mazos o pisones de madera. (Norma Técnica E.080 Diseño y Construcción con Tierra Reforzada, 2017, pág.7)

El tapial es un sistema de construcción con tierra, que consiste principalmente en la mezcla de tierra y agua necesaria hasta obtener el contenido óptimo de humedad (COH), que en ocasiones se le añade agregado grueso y/o aditivos (cal o cemento) para mejorar sus propiedades mecánicas. Siendo la tierra el material predominante en la mezcla esta debe ser debidamente seleccionado, preparado y compactado.

Todas las tierras sirven para construir, lo único que cambia es la técnica con la que se construye, aun así hay suelos que no pueden ser utilizados para la construcción debida a que la arcilla, que es un ligante natural, no tiene una buena cohesión.

Este tipo de muro se caracteriza en su forma tradicional por un espesor relativamente grande (de 30 a 40 cm, y aún más), lo cual requiere destinar mucha superficie del terreno para la construcción de las paredes, por lo que aun cuando ha sido muy utilizado en construcciones de todo tipo en el pasado, su uso se restringe hoy más bien al área rural.

El tapial fue usado principalmente en regiones de clima semi-árido. De hecho el espesor del muro confiere a éste, una inercia térmica muy adecuada para controlar los picos de máxima y mínima diarios del ciclo de temperatura en este tipo de clima. Además el proceso constructivo requiere por lo general tanta agua como la que se encuentra en forma de humedad natural en el suelo. En zonas lluviosas la técnica para construcciones con tierra sin estabilizar ha sido, la de construir el techo sobre soportes de madera, y luego bajo esta protección preparar adobes.

La necesidad de apisonar, la facilidad que brinda la gravedad para un operario parado sobre el muro, son problemas sin solución en las terminaciones de tapial allí donde hay techos. De

hecho esta terminación es posible, sólo que presenta otro tipo de dificultad y es probable que se haya recurrido a técnicas combinadas, utilizando adobes para el cierre hasta el techo.

2.2.1.3 Componentes del tapial

Apisonar tierra es una forma de aumentar la resistencia a la compresión del material por la vía de la densificación del mismo, lo cual se logra por lo general por medio del apisonado manual o mecánico. De acuerdo al contenido granulométrico del suelo, considerando que los agregados (grava y arena) cumplen la función de transmisión de cargas y las arcillas que actúan como elementos cohesionadores.

A) Tierra

La tierra fue uno de los primeros materiales utilizados por el hombre junto a la madera y la piedra en su estado natural. Estos refugios consistieron en las cuevas naturales o fueron contruidos con madera en rollizos o con piedras amontonadas.

Según Lepsch (2010), hace 30.000 años, el hombre sólo identificaba los diferentes tipos de suelo teniendo en cuenta sus necesidades básicas, es decir: algunos suelos eran capaces de producir alimentos buenos, otros eran más adecuados para proveer pigmentos y otros para producir objetos. Hace alrededor de 10.000 años, con su fijación en determinados territorios y el comienzo de la agricultura, el hombre comenzó a interesarse más por el conocimiento del suelo. Uno de los pueblos pioneros en la clasificación de los suelos, los chinos, hace 6.600 años que ya tenían detectados nueve tipos de suelo para la agricultura.

Luego vinieron los griegos, con los estudios de Aristóteles y Teofrasto (hace unos 2.500 años); y más tarde los de los romanos, con el "Tratado de Agricultura," de Catón el Viejo (hace 2.200 años), y los de Columela (2000 años). En el primer milenio de la era cristiana, la contribución fue de los árabes, aún con los estudios de suelo destinados a la agricultura. Después de la Edad Media, con el advenimiento de la imprenta, y después de la Revolución Francesa, las ciencias han experimentado un gran avance. Surgió así la pedología, la ciencia que estudia el suelo como un todo y en su ambiente natural, establecida por el naturalista ruso Vasily V. Dokouchaev (en 1877), quien también definió la pedogénesis: el estudio de la formación del suelo.

Desde entonces, la pedología se subdivide en varias otras subáreas, como por ejemplo, la edafología (más relacionada con la agricultura, con sus diversas ramificaciones) y otras relacionadas con la ingeniería civil, como la geotecnia y la mecánica de suelos (que surgió en 1925, con el profesor Karl Terzaghi, según Caputo, 1996).

Es así que la pedología no abarca el estudio del suelo como material de construcción. De ahí la gran importancia de conocer las características, comportamiento y procedimientos para

su identificación, ya que algunos tipos de suelos no son aptos para la producción de materiales de construcción y otros sólo pueden ser apropiados para ciertas técnicas de edificación.

A.1) Composición mineralógica

El suelo se denomina en función del componente mayoritario, es decir, pueden existir suelos o tierras arenosas, limosas o arcillosas. De este modo es incorrecto referirse a un suelo como arcilla o arena a menos que esta haya sido procesada en un planta o que el resto de componentes representen una mínima fracción. En general los componentes que constituyen menos del 5% en peso no se mencionan al nombrar un suelo. Del mismo modo un suelo puede presentar distintos tipos de arcilla en su composición y las propiedades que estén presentes serán un “promedio” de las anteriores.

Desde el punto de vista de la ingeniería las partículas sólidas que componen el suelo se clasifican según su naturaleza y tamaño:

A.1.1) Gravas y arenas

Son depósitos formados por partículas de roca descompuestos mecánicamente, cuya estructura química se conserva y cuya forma puede ser más o menos angulosa en función del tipo y grado de erosión. Sus dimensiones se establecen por encima de los 0.06 mm y hasta los 2 mm de diámetro para las arenas y por encima de esta dimensión para las gravas. Esta división según los tamaños es completamente arbitraria y responde a una necesidad de cuantificar las distintas fracciones para poder clasificar los suelos.

A.1.2) Limos

Son suelos de partículas de menor tamaño (entre 0.06 y 0.002 mm de diámetro) relativamente homogéneas y estables o que han empezado su descomposición química, con poca o ninguna plasticidad.

A.1.3) Arcillas

Son suelos de partículas laminares y muy finas (<0.002 mm) compuestas por agregados moleculares relativamente estables, producto final de la descomposición y con propiedades físicas y composición química diferente a los anteriores.

Químicamente se pueden describir como filosilicatos alumínicos hidratados y su forma es laminar con una superficie específica muy superior al resto de partículas redondeadas o angulares, siendo los principales responsables de las características del suelo de cara a su utilización como material de construcción. Las propiedades que tienen mayor interés desde

este punto de vista son las debidas a su comportamiento en presencia del agua: la capacidad de intercambiar iones, la plasticidad y las variaciones de volumen.

La arcilla actúa como “aglomerante” en el suelo (de modo similar al conglomerante en un concreto, pero sin reacción química). En su estado natural las láminas se encuentran desordenadas y en apariencia el suelo es poco compacto y poroso; mediante las distintas técnicas de construcción (amasado, compactado, apisonado) se pretende que las láminas se vayan ordenando paralelamente para lograr una estructura más compacta y resistente.

A.2) Identificación de suelos adecuados para construir con tapial

La construcción con tierra, donde la principal materia prima es el suelo, recibe diversas denominaciones tales como tierra cruda, tierra sin cocer y tierra para construir, o simplemente tierra.

Los suelos apropiados a la construcción generalmente están ubicados en el subsuelo, libres de materia orgánica.

Las propiedades más importantes de los suelos para la construcción son:

- En la selección: composición granulométrica, plasticidad.
- En el control de la ejecución: humedad y grado de compactación.

A.2.1) Granulometría

La composición granulométrica del suelo es representada a través del diagrama denominado curva de distribución granulométrica. Dependiendo de los autores existen recomendaciones distintas para la composición granulométrica de los muros de tapial. En la *Tabla 3*, se presenta las recomendaciones de algunos autores.

Tabla 3 Porcentajes establecidos para la granulometría del tapial

CLASIFICACIÓN	PORCENTAJES CRATERRE*	PORCENTAJES CEET Y DES*	PORCENTAJES SAZS 724	PORCENTAJES PIET 70**
Grava	0 – 15	5 – 20	50 – 70	10 – 20
Arena	40 – 50	40 – 65		10 – 40
Limo	35 – 20	15 – 25	15 – 30	20 – 40
Arcilla	15 – 25	10 – 30	5 – 15	10 – 40

Fuente: Elaboración propia

*arcilla<0,002 mm; limo de 0,002 a 0,06 mm; arena de 0,06 a 2 mm; grava de 2 – 20 mm

**arcilla<0,002 mm; limo de 0,002 a 0,5 mm; arena de 0,5 a 5 mm; gravilla de 5 – 20 mm

De acuerdo a lo tratado en el Comité de la NTE E.080, es claro que el suelo adecuado debe contener principalmente entre sus componentes, cantidades suficientes de arcilla y de arena. El porcentaje de arcilla, suministra cohesión, uniendo las partículas de arena, conformando

una mezcla estructuralmente resistente. Sin embargo el exceso de arcilla puede producir grietas al secarse el tapial, por lo que, en general se considera que no debe exceder el 20%.

A.2.2) Plasticidad

Atterberg desarrolló ensayos que consisten en medir el grado de humedad del suelo en los diversos estados de consistencia, debido a que muchos detalles de los ensayos no estaban bien especificados y la experiencia ha demostrado que esos detalles son de trascendencia en los resultados. En vista de lo cual, Terzaghi y Casagrande estandarizaron los ensayos de límite plástico y límite líquido respectivamente. Atterberg demostró que la plasticidad de una arcilla puede describirse en términos de dos parámetros: límite líquido y el índice plástico, este numéricamente igual a la diferencia del límite líquido y el plástico.

Algunos autores recomiendan dependiendo de los valores de límite líquido y el índice plástico si el suelo a usar es bueno para la construcción con tapial. Así tenemos las recomendaciones siguientes (ver *Tabla 4*):

Tabla 4 Límite líquido e índice de plasticidad para la construcción con tapial

REFERENCIA	PLASTICIDAD	
	Límite Líquido	Índice Plástico
PIET 70	< 40	6 – 22
Houben y Guillaud	25 – 46	2 – 30

Fuente: Elaboración propia

A.2.3) Compactación

Se entiende por compactación de los suelos el mejoramiento artificial de sus propiedades mecánicas por medios mecánicos. La importancia de la compactación de los suelos estriba en el aumento de resistencia y disminución de capacidad de deformación que se obtienen al sujetar el suelo a técnicas convenientes que aumenten su peso específico seco, disminuyendo sus vacíos.

La humedad óptima de compactación es determinada en laboratorio (ensayos de compactación) a través de la medida de la masa específica del suelo en diferentes humedades, cuando él es compactado en un determinado molde. La humedad óptima es una variable que depende de la energía de compactación (Juárez Badillo & Rico Rodríguez, 1976, pág. 598)

La compactación no se produce por la fuerza de los impactos, sino por la frecuencia de estos, que hacen que las partículas del suelo se acomoden eliminándose los vacíos. Para la elección del pisón mecánico, se deben considerar estos factores. Este debe ser ligero y fácil

de usar. Pisones demasiado pesados llevan a densidades elevadas del material, causando la pérdida de las características importantes del tapial como es el intercambio de humedad con el ambiente. (Neves & Faria, 2011, pág. 56)

Este proceso de conformación del tapial no necesariamente obedece las exigencias de compactación.

A.3) Reconocimiento de suelos con pruebas de campo

A.3.1) Prueba “presencia de arcilla” o “resistencia seca”

Consiste en preparar 4 bolitas de suelo húmedo de 2 cm de diámetro aproximadamente, las cuales se dejan secar por 48 horas, bajo techo. Pasado ese tiempo, las bolitas se presionan con el pulgar y el índice, como en la figura. Las 4 bolitas no se deben romper, agrietar o quebrar; si eso pasa, se debe volver a formar una bolita con los mismos materiales y dejando secar en las mismas condiciones.



Figura 1. Prueba de campo “presencia de arcilla”.

Fuente: Norma Técnica E.080 Diseño y Construcción con Tierra Reforzada, 2017.

Luego del tiempo de secado, se debe repetir la prueba.

- Si se vuelve a romper, quebrar o agrietar, se debe desechar la cantera de suelo donde se ha obtenido la tierra. Salvo que se mezcle con arcilla o suelo muy arcilloso.
- En caso de que luego de la prueba no se rompa, no se quiebre o no se agriete ninguna de las cuatro bolitas, dicha cantera podrá utilizarse como material de construcción.

A.3.2) Prueba de sedimentación

Consiste en colocar el suelo en una botella con agua, en donde se llena $\frac{1}{4}$ partes con suelo y $\frac{3}{4}$ partes de agua, se agita y se deja reposar por 24 horas. Luego los sedimentos de arena, limo y arcilla formaran capas y se mide el espesor de cada capa para hallar su proporción.

A.3.3) Prueba “cinta de barro”

Para tener una primera evaluación de la existencia de arcilla en un suelo se puede realizar la prueba rápida de la cinta (en un tiempo aproximado de 10 minutos).

Utilizando una muestra de barro con una humedad que permita hacer un cilindro de 12mm de diámetro, colocado en una mano, aplanar poco a poco entre los dedos pulgar e índice, formando una cinta de 4mm de espesor, que se deja descolgar lo más que se pueda. Si la cinta alcanza entre 20 cm y 25 cm de longitud, el suelo es arcilloso. Si se corta a los 10 cm o menos, el suelo tiene poco contenido de arcilla.



Figura 2. Prueba de campo "cinta de barro"

Fuente: Elaboración propia.

A.4) Control de humedad en campo

A.4.1) Prueba “contenido de humedad” para la construcción con tapial

Consiste en tomar un puñado de suelo húmedo y comprimirla fuertemente para que la tierra se quede compacta. Soltarla a un suelo firme y plano desde una altura de 1.10 m. Si la bola de tierra se rompe en 5 pedazos o más, el contenido de humedad es correcto. Si la bola se aplasta sin desintegrarse, el contenido de humedad es demasiado alto. Si la bola se desintegra en el piso, el suelo es demasiado seco.



Figura 3. Prueba del contenido de humedad en campo.

Fuente: Elaboración propia.

B) Agregados

La tierra está integrada por partículas de diversa dimensión en función de la cual se clasifican de la siguiente manera. Gravas, arenas, limos y arcillas cada una de ellos cumple una función específica dentro del sistema. Los tres primeros se consideran materiales “inertes”, ya que no se ven afectados por el agua que conforma la mezcla. Sin embargo, su papel en el conjunto consiste en la conformación de la estructura portante que lo mantiene estable. (Guerrero Baca, 2009, págs. 41-42)

La mezcla de tierra puede contener grava de tamaño máximo de $\frac{3}{4}$ ” en proporciones entre el 10% y 20% siempre que no dificulte la compactación manual (Tejada Schmidt, Mendoza García, & Torrealva Dávila, 2013)

C) Agua

El agua constituye el otro elemento fundamental dentro del proceso constructivo y cumple dos funciones sustantivas. En primer lugar, permite el movimiento de las partículas sólidas de la mezcla al transportar a las más pequeñas entre las de mayor tamaño. Y en segundo lugar, activa las propiedades “adhesivas” de los cristales de arcilla que al hidratarse generan atracciones electrostáticas sobre el resto de componentes (Rodríguez, 2001, pág. 84, citado en Guerrero Baca, 2009)

El agua básicamente debe estar libre de impurezas. Su uso es para dar cierta consistencia al suelo, teniendo cuidado de no formar charcos o barros excesivamente húmedos. Su función primordialmente consiste en activar la arcilla y lograr una humedad adecuada para realizar la compactación.

2.2.1.4 Refuerzos del tapial

Los refuerzos estructurales para las edificaciones con tapial son similares a los empleados para el adobe. Pueden ser empleadas las mallas electro soldadas de acero, mallas de plástico o geomallas, refuerzos con elementos de madera u otros.

A) Refuerzo con geomallas

Las consideraciones de uso de la norma NTE E.080 (2017) para el refuerzo con geomallas, son las siguientes:

- Los muros portantes y no portantes, incluyendo los vanos, deben envolverse con las geomallas, tensándolas uniformemente. Deben conectarse las geomallas de ambas caras de los muros con cuerdas sintéticas, con una separación máxima de 0.30 m.
- La geomalla debe estar convenientemente anclada a la base del sobrecimiento y a la viga collar superior.
- El uso de otro tipo de mallas, sólo es permitido si acredita su capacidad sismorresistente en ensayos cíclicos a escala natural.

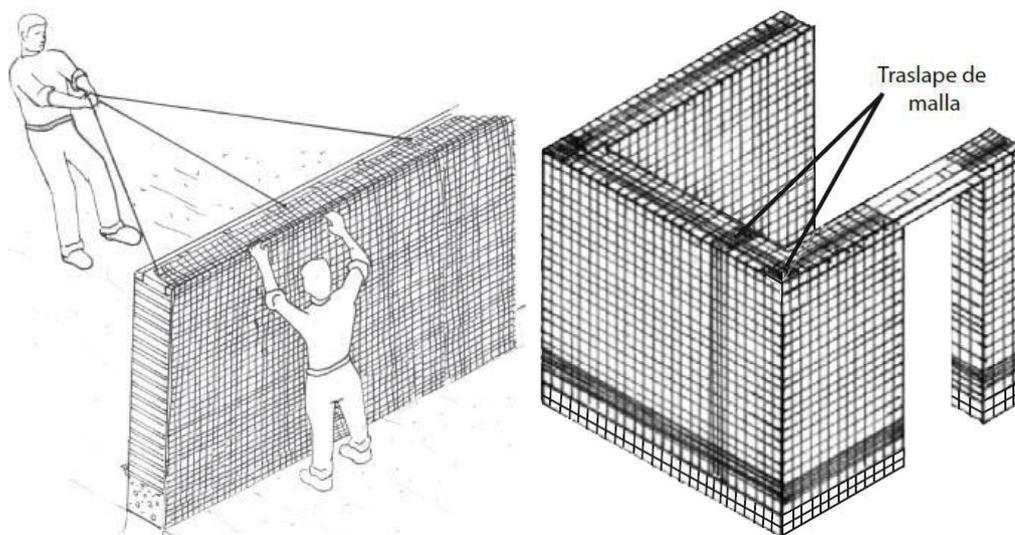


Figura 4. Colocación y traslape de mallas.

Fuente: Norma Técnica E.080 Diseño y Construcción con Tierra Reforzada, 2017.

B) Refuerzo con eucalipto

El refuerzo vertical consta de troncos de eucalipto de 4” de diámetro o madera aserrada de 3” x 4” y se colocan a ambos lados del muro en pareja. Los refuerzos verticales se conectan entre sí a través del muro en cada junta seca del muro de tapial con cuerdas de nylon o similar.

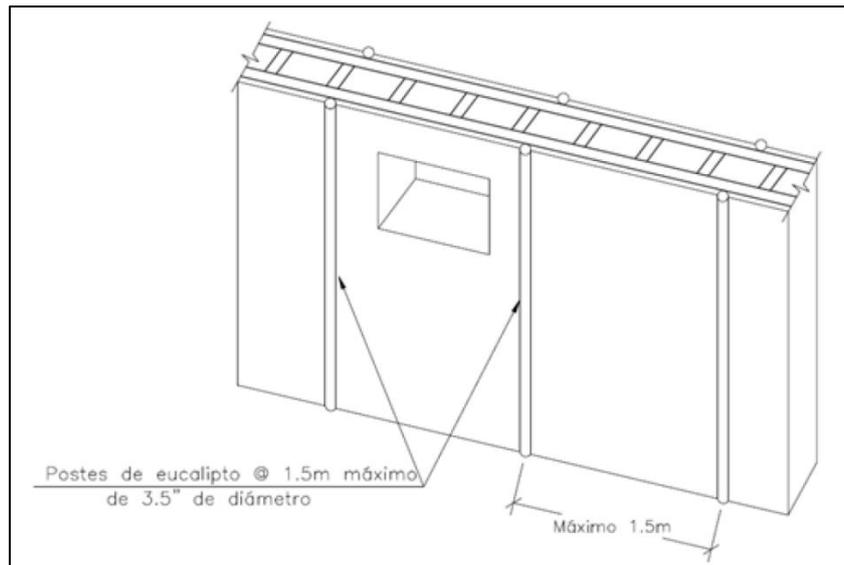


Figura 5. Tapial reforzado con eucalipto.

Fuente: Tejada Schmidt, Mendoza García, & Torrealva Dávila, 2013.

C) Refuerzo con hiladas de Mortero de cemento – arena

El mortero cumple la función de unir o pegar las unidades de albañilería (ladrillo y bloques de concreto) entre sí, en la construcción de muros, y la principal propiedad de los morteros es su capacidad adhesiva.

En la presente investigación el mortero no cumplirá la función de adhesivo entre las hiladas del tapial, contrariamente cumplirá la función de reforzar el muro de tapial; y determinaremos si las hiladas de mortero añadidas al muro tienen una influencia en las propiedades mecánicas.

C.1) Componentes

El tipo de mortero que se utilizara para añadir a los muros es el especificado por la NTE E.070 Albañilería, donde los componentes del mortero tendrán las proporciones en volumen indicadas en la *Tabla 5*.

Tabla 5 Proporción volumétrica del mortero para muros portantes

COMPONENTES		USOS
Cemento IP	Arena	
1	4	Muros Portantes

Fuente: N.T.E. E.070 – Albañilería.

C.1.1) Cemento

Según la definición de la NTE E.060, el cemento es, material pulverizado que por adición de una cantidad conveniente de agua forma una pasta aglomerante capaz de endurecer, tanto bajo el agua como en el aire. Quedan excluidas las cales hidráulicas, las cales aéreas y los yesos.

El tipo de cemento utilizado comúnmente para los morteros en Perú es el cemento portland tipo IP.

C.1.2) Arena

Las arenas están compuestas por granulometrías diferentes, en algunas solo predomina un tamaño y en otras están formadas por tamaños diferentes, estas son las denominadas “arenas bien graduadas”. La NTE E.070 Albañilería, nos da la granulometría de la arena recomendable para morteros (ver *Tabla 6*).

Tabla 6 Granulometría de la arena gruesa para morteros

GRANULOMETRIA DE LA ARENA GRUESA	
MALLAS ASTM	% QUE PASA
N° 4 (4.75 mm)	100
N° 8 (2.36 mm)	95 a 100
N° 16 (1.18 mm)	70 a 100
N° 30 (0.60 mm)	40 a 75
N° 50 (0.30 mm)	10 a 35
N° 100 (0.15 mm)	2 a 15
N° 200 (0.075 mm)	Menos de 2

Fuente: N.T.E. E.070 – Albañilería.

2.2.1.5 Ventajas y desventajas de la construcción con tapial

Una de las variables habituales en el análisis de la sostenibilidad de los materiales de construcción consiste en el cálculo de las emisiones de CO₂. A continuación exponemos algunas cifras de CO₂ asociadas a la construcción convencional con concreto u obra de fábrica, y de construcción con tierra, procedentes de estudios realizados en diferentes universidades. La comparativa muestra claramente como la tierra emite una cantidad muy reducida de CO₂ en comparación con los materiales convencionales.

Tabla 7 Emisiones de CO₂ de los distintos materiales convencionales

Material	Densidad	Emisiones por Kg	Emisiones por m³
Tapial (sin estabilizar)	2,200 Kg/m ³	0.004 Kg CO ₂ /Kg	9.7 Kg CO ₂ /m ³
Adobe	1,200 Kg/m ³	0.06 Kg CO ₂ /Kg	74 Kg CO ₂ /m ³
Concreto en masa in situ	2,360 Kg/m ³	0.14 Kg CO ₂ /Kg	320 Kg CO ₂ /m ³
Concreto prefabricado, 2% de acero	2,500 Kg/m ³	0.18 Kg CO ₂ /Kg	455 Kg CO ₂ /m ³
Pared de ladrillo macizo	1,600 Kg/m ³	0.19 Kg CO ₂ /Kg	301 Kg CO ₂ /m ³
Pared de ladrillo hueco	670 Kg/m ³	0.14 Kg CO ₂ /Kg	95 Kg CO ₂ /m ³

Fuente: Informes de la construcción, Vol. 63, 523, 5-20. Construcción con tierra en el siglo XXI.

El tapial, cuando es empleada apropiadamente tiene bajo consumo de energía en el proceso de construcción, en general no necesita transportar materia prima y es reciclable, pues cuando se demuelen, este tipo de construcciones vuelven casi por completo a su condición original de suelo. Además de estas características, el tapial tiene excelente inercia térmica y permite el intercambio de humedad con el ambiente, garantizando así menor o nulo consumo de energía de acondicionamiento de aire en los locales construidos.

Facilita la autoconstrucción.- la fuente de abastecimiento del material es ilimitada. Analizando los tipos de tierra se pueden incorporar mejoras a nivel granulométrico y de composición. También permite incorporar la posibilidad de utilizar tierra de las propias excavaciones, favoreciendo la reducción de residuos de la obra y los gastos de transporte de material.

Preservación ambiental.- Los procesos de producción son sencillos, sin necesidad de cocciones que generan combustiones con alto consumo energético. A diferencia de los ladrillos o el concreto, la energía utilizada en la producción es muy baja. Además no se producen emisiones tóxicas durante el proceso constructivo ni durante su vida útil. El consumo de agua en la producción y en la obra es bajo en el tapial donde la tierra se trabaja con una humedad entre el 8 al 10 %.

Reintegración a la naturaleza.- El tapial, por estar constituido generalmente por materiales presentes en la naturaleza, pueden tener una reintegración parcial o total a la naturaleza una vez que el edificio ya ha pasado su vida útil. No necesita ningún tratamiento para ser devuelto al medio ambiente sin causar contaminación alguna. En cambio el ladrillo, el concreto y el cemento no se reintegran a la naturaleza una vez que el edificio ha perdido su funcionalidad, quedando como escombros y provocando un impacto ambiental mucho mayor.

Buen Aislante térmico.- El material del que está constituido el tapial es un buen aislante térmico. El interior de una casa construida con este material requerirá un uso mucho menor de sistemas de climatización que en una convencional de materiales industriales.

Las casas construidas en base a tierra cruda resultan frescas en verano y cálidas en invierno logrando fácilmente un agradable bienestar térmico. El coeficiente de conductividad térmica del tapial es de 0.6 – 1.6 W/mK, siendo del ladrillo de 1.04 W/mK y del concreto de 2.3 W/mK.

El coeficiente de conductividad térmica expresa la cantidad o flujo de calor que pasa, por unidad de tiempo, a través de la unidad de superficie de una muestra de material, de extensión infinita, caras plano paralelas y espesor unidad, cuando entre sus caras se establece una diferencia de temperaturas igual a la unidad, en condiciones estacionarias.

Buen comportamiento acústico.- El tapial resulta ser también un buen aislante acústico. Las viviendas construidas con tierra cruda quedan más aisladas de los ruidos exteriores, resultando más silenciosas que otras construidas con materiales industriales convencionales. Por otro lado, su superficie irregular difumina el ruido producido del interior de las viviendas, lo que evita las reverberaciones y propicia un interior más silencioso y agradable.

Buen comportamiento frente al fuego.- La tierra como material se considera prácticamente incombustible, no propaga el fuego y no emite gases tóxicos.

No obstante el tapial también presenta algunas desventajas frente a otros sistemas constructivos que es importante resaltar.

En las regiones sujetas a sismos, es necesario proponer diseños sismorresistentes, señalando que el tapial ofrece poca resistencia a los esfuerzos de flexión y de tracción, por lo que hay que desarrollar diseños adecuados. La estabilidad de las paredes se obtiene mediante la definición de dimensiones apropiadas, el uso de refuerzos, tales como contrafuertes, o la asociación a otros sistemas estructurales (Habiterra, 1995).

En el ámbito de la conservación y restauración, el agua es uno de los autores principales de degradación de los edificios. A pesar de la simplicidad del sistema constructivo, la conservación y restauración de las edificaciones de tierra, desde el punto de vista de la técnica, es una de las más difíciles. Según Oliveira y Santiago (1993), la tierra es un material de gran complejidad debido al comportamiento físico y químico diversificado de sus arcillominerales.

Construcción limitada en altura.- las construcciones con tapial, debido a la resistencia del material, limita la construcción de viviendas a dos niveles como máximo con este tipo de material.

Vulnerabilidad sísmica.- Debido a la naturaleza mecánica del material, las estructuras de tapial son vulnerables al efecto de los sismos y terremotos. Existen no obstante técnicas constructivas de sencillo desarrollo que permiten a este tipo de edificios ser resistentes a estos fenómenos naturales.

Debilidad ante el agua.- el agua produce sobre el tapial, un efecto erosivo similar al ejercicio sobre el suelo sin vegetación. No obstante existen diversas técnicas que la cultura popular ha desarrollado en diferentes partes del mundo para solventar este problema.

Para evitar el efecto negativo del agua de lluvia que se acumula en el suelo en momentos de precipitación intensa, los edificios construidos con tierra se sustentan sobre cimientos de piedra o de cualquier otro material resistente al agua.

2.2.1.6 Comportamiento estructural del tapial

Los muros de tapial tienen una adecuada resistencia a la compresión, lo que les permite soportar cargas de gravedad sin problemas. Las dificultades se presentan cuando los muros deben soportar cargas horizontales de sismo. Cuando estas cargas actúan en el plano del muro, su resistencia depende principalmente de su capacidad de absorber esfuerzos de corte. Por lo tanto las edificaciones construidas con muros de tapial deben llevar refuerzos que mejoren sus características mecánicas.

De otro lado es importante destacar que, además de requerir de refuerzos las construcciones con tierra, deben disponer de diseños adecuados que utilicen densidades de muros similares en sus direcciones ortogonales, para minimizar esfuerzos debidos a torsión, y cuyas esbelteces no produzcan pandeos; que utilicen vanos pequeños y alejados de las esquinas, para no debilitarlas.

A) Características mecánicas

Las propiedades mecánicas de los materiales refieren a la capacidad de cada material a resistir acciones de cargas o fuerzas. La medición de las propiedades mecánicas de los tapias se realizara con la interpretación de la capacidad del tapial de resistir los diferentes tipos de esfuerzos a los que es sometido.

Los esfuerzos aparecen generalmente en situaciones de dos o más esfuerzos, actuando a la vez, por lo tanto las combinaciones de estas fuerzas son: axiales con flectores, axiales con torsores, flectores con torsores o axiales con torsores y flectores a la vez.

Es importante identificar en las combinaciones, los que se definen como Esfuerzos Normales y los que se identifican como Esfuerzos Cortantes además de la distribución de los esfuerzos con sus valores máximos.

Los esfuerzos que se prevé encontrar durante los ensayos de compresión axial y compresión diagonal, son esfuerzos de compresión y esfuerzos de cortante directo respectivamente, ya que por la naturaleza del ensayo, al aplicar la carga axial sobre el muro las escuadras repartirán la carga perpendicularmente sobre las superficie del muro, generando esfuerzos de compresión y esta a su vez debido a la posición del muro se repartirá transversalmente, generando esfuerzos cortantes, en el muro.

A.1) Compresión axial

El esfuerzo de compresión es la resultante de las tensiones o presiones que existen dentro de un sólido deformable, caracterizada porque tiende a una reducción de volumen del cuerpo, y a un acortamiento del cuerpo en determinada dirección (coeficiente de Poisson).

Los muros de tapial, en forma similar a los de adobe, son estructuras portantes de tierra que trabajan prácticamente en su totalidad sometidos a esfuerzos de compresión, lo que les permite soportar cargas de gravedad sin problemas.

La resistencia del tapial depende de diversos factores, entre ellos:

- Característica y propiedades de los materiales constituyentes de la mezcla: tierra, aditivos y agua.
- Proporcionamiento de las cantidades relativas de los materiales de la mezcla, y principalmente del contenido inicial de agua.
- Batido de la mezcla.
- Colocación y la energía específica de compactación de la mezcla.

A.2) Esfuerzo cortante

Los esfuerzos cortantes, son componentes de la resistencia total al deslizamiento de la porción de sólido a un lado de la sección de exploración, respecto a la otra porción. Actúan paralelamente al plano que la resiste, son llamados también esfuerzos tangenciales. Aparecen esfuerzos cortantes siempre que las fuerzas aplicadas obliguen a que una sección del sólido tienda a deslizarse sobre la sección adyacente, cuando el corte tiene lugar en un plano paralelo a la carga aplicada, se denomina cortante directa.

La capacidad de este tipo de construcciones para soportar esfuerzos de tracción es mínima.

2.2.1.7 Mecanismos de falla en las construcciones con tapial

Las edificaciones de adobe y tapial presentan usualmente unas características constructivas que contribuyen a aumentar su vulnerabilidad sísmica. Frecuentemente la edad de estas edificaciones y el deterioro de las propiedades mecánicas de sus materiales llevan a una disminución adicional de su capacidad de soportar un terremoto.

Los principales factores que contribuyen a aumentar la vulnerabilidad sísmica de las viviendas en adobe y tapial son: irregularidades en planta y en altura, distribución inadecuada de los muros en planta, pérdida de la verticalidad de los muros, problemas de humedad, filtraciones, conexión inadecuada entre muros, uso de materiales no compatibles, entresijos pesados y ausencia de diafragmas, apoyo y anclaje inadecuado de elementos de entresijo y cubiertas sobre muros, entresijos muy flexibles, luces muy largas y estructuración de cubierta deficiente.

A) Tipos de fallas asociados con fuerzas sísmicas

Las edificaciones construidas con muros de adobe y tapial presentan mecanismos de colapso y patrones de agrietamiento que pueden ser agrupados de la siguiente forma, según Yamin Lacoutore, Phillips Bernal, Reyes Ortiz & Ruiz Valencia (2007, pag. 289)

1. Flexión perpendicular al plano del muro, agrietamiento horizontal en la base o a una altura intermedia y agrietamientos verticales adicionales. Esto se presenta frecuentemente en muros largos.
2. Falla por flexión perpendicular al plano del muro con agrietamiento vertical en la zona central. Agrietamiento diagonal que constituye el mecanismo de falla y figuración en la parte superior.
3. Falla por flexión perpendicular al plano en las esquinas no confinadas de muros sueltos, o en esquinas no conectadas efectivamente con los muros transversales.
4. Falla por cortante en el plano del muro asociada a altos empujes horizontales. En muchos casos estos agrietamientos están asociados a entresijos o cubiertas muy pesadas y se ven magnificados con las aberturas correspondientes a las puertas y ventanas en los muros.
5. Caída de la cubierta hacia el interior de la vivienda, por encontrarse mal apoyada sobre los muros. Se genera una falla en la zona superior de los muros.
6. Falla generalizada de la cubierta por ausencia de un apoyo adecuado o por mala estructuración de ella. Este tipo de mecanismo de falla es frecuente en edificaciones con cubiertas muy pesadas, mal concebidas estructuralmente o con alto grado de deterioro.
7. Falla que se presenta por mala conexión de los muros del primer piso con los del segundo. En este mecanismo de falla el entresijo rompe los muros principales en forma casi horizontal, generando la inestabilidad del segundo piso.

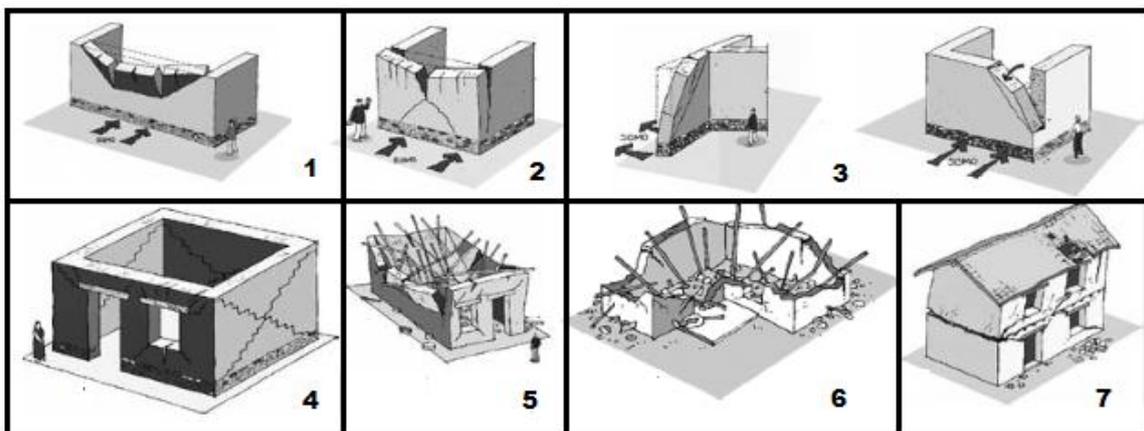


Figura 6. Tipos de falla y agrietamientos asociados con fuerzas sísmicas
Fuente: Yamin Lacoutore, Phillips Bernal, Reyes Ortiz, & Ruiz Valencia, 2007.

B) Formas de fallas más comunes en las construcciones con tierra

Las fallas en construcciones de adobe y tapial se atribuyen principalmente a la poca resistencia que soportan en tracción, las fallas típicas según Gutiérrez L. & Blondet M., citado en Huanca, P. (2016, pág. 26) son las siguientes:

B.1) Falla por flexión

Las fuerzas sísmicas actuantes sobre los muros, producen esfuerzos de tracción en los encuentros de muros transversales debido a la poca resistencia a la tracción de los muros, se generan grietas en las esquinas de la parte superior, causando la separación de los muros.

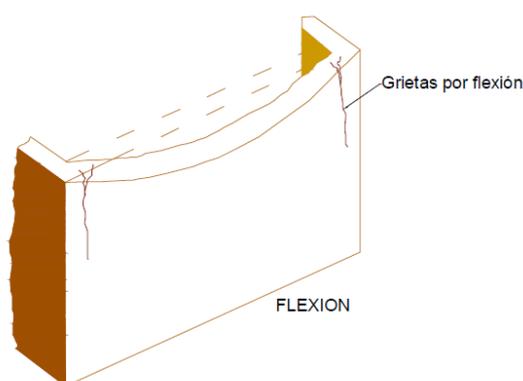


Figura 7. Falla por flexión.
Fuente: Gutiérrez L. & Blondet M.

B.2) Falla por corte

Ocurre cuando las fuerzas horizontales actúan paralelas al plano del muro, generando grietas por esfuerzo cortante, las que por general presentan una orientación diagonal siguiendo las juntas verticales y horizontales (falla escalonada).

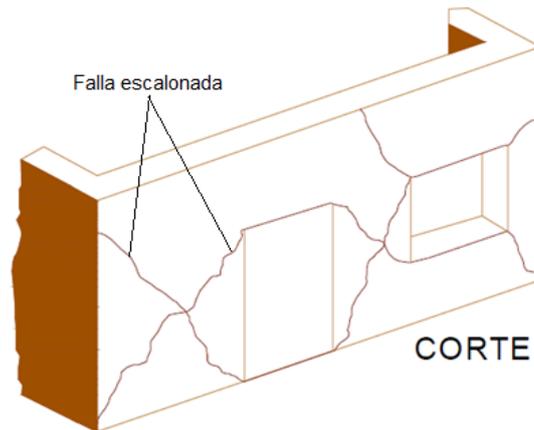


Figura 8. Falla por corte.
Fuente: Gutiérrez L. & Blondet M.

B.3) Falla por volteo

Separados los muros debido a la falla de sus uniones, estos se comportarán como sólidos rígidos independientes, los cuales serán sometidos a grandes fuerzas sísmicas. Dichas fuerzas producirán momentos actuantes, que serán contrarrestados por el peso de los muros. Si el momento actuante es mayor que el momento resistente, el muro se desploma y causa el colapso del techo.

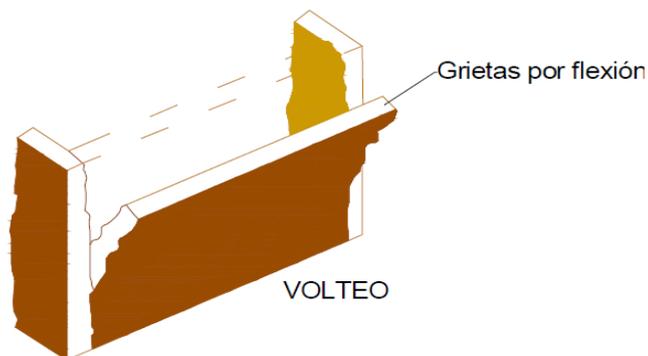


Figura 9. Falla por volteo.
Fuente: Gutiérrez L. & Blondet M.

2.2.1.8 Propiedades físico – mecánicas del tapial

A) Propiedades físicas

A.1) Densidad

La densidad se define por la relación de la masa seca con respecto al volumen. Un suelo recientemente excavado tiene una densidad de 1200 a 1500 kg/m³. Si este suelo se compacta su densidad varía de 1700 a 2200 kg/m³ o más, si contiene considerables cantidades de agregado grueso.

A.2) Compactibilidad

La compactibilidad es la capacidad de la tierra para ser compactada mediante presión estática o compactación dinámica reduciendo así su volumen. Para obtener la compactación máxima el suelo debe tener un contenido específico de agua lo que se denomina “contenido óptimo de agua” lo que permite llevar a las partículas a un estado más denso. Este contenido de agua óptimo se determina mediante el ensayo de proctor modificado (ver ítems 3.3.4.1 y 3.3.4.4)

B) Propiedades mecánicas

B.1) Resistencia a compresión axial en pilas

La comprobación de la resistencia a la compresión se realizara según lo indicado en la Norma Peruana NTE E.080 Diseño y Construcción con Tierra Reforzada (2017), que consiste en someter a carga axial pilas estandarizadas.

- a) Ensayo de compresión en pilas de tapial de altura igual a tres veces la menor dimensión de la base (aproximadamente).
- b) Se deberá cumplir con que el promedio de las cuatro mejores muestras (de seis muestras) sea igual o mayor a la resistencia ultima (6.12 Kg/cm²), después de 28 días de secado.

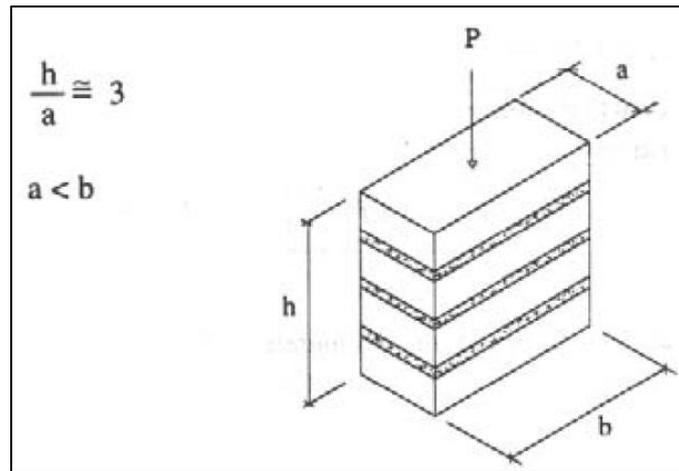


Figura 10. Ensayo de compresión en pilas.

Fuente: Norma Técnica E.080 Diseño y Construcción con Tierra Reforzada, 2017.

B.2) Resistencia a compresión diagonal en muretes

La comprobación de la resistencia a la tracción indirecta se realizara según lo indicado en la Norma Peruana NTE E.080 Diseño y Construcción con Tierra Reforzada (2017), que consiste en someter a compresión diagonal los muretes establecidos por norma.

- Ensayo de compresión diagonal o tracción indirecta de muretes cuadrados de tapial con un espesor variable (e_m)
- Se deberá cumplir con que el promedio de las cuatro mejores muestras (de seis muestras) sea igual o mayor a la resistencia ultima (0.25 Kg/cm^2), después de 28 días de secado.

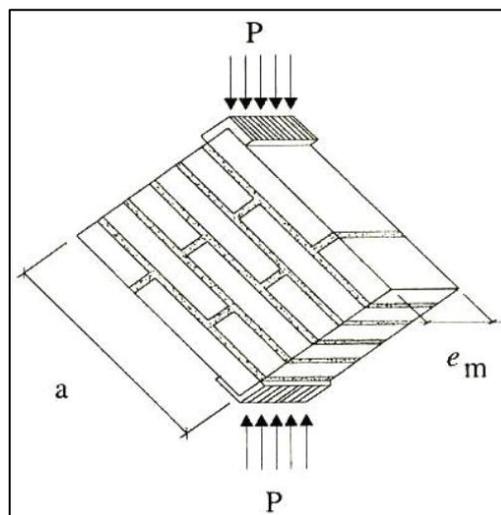


Figura 11. Ensayo de compresión diagonal o tracción indirecta.

Fuente: Norma Técnica E.080 Diseño y Construcción con Tierra Reforzada, 2017.

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3 METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1 TIPO DE INVESTIGACIÓN

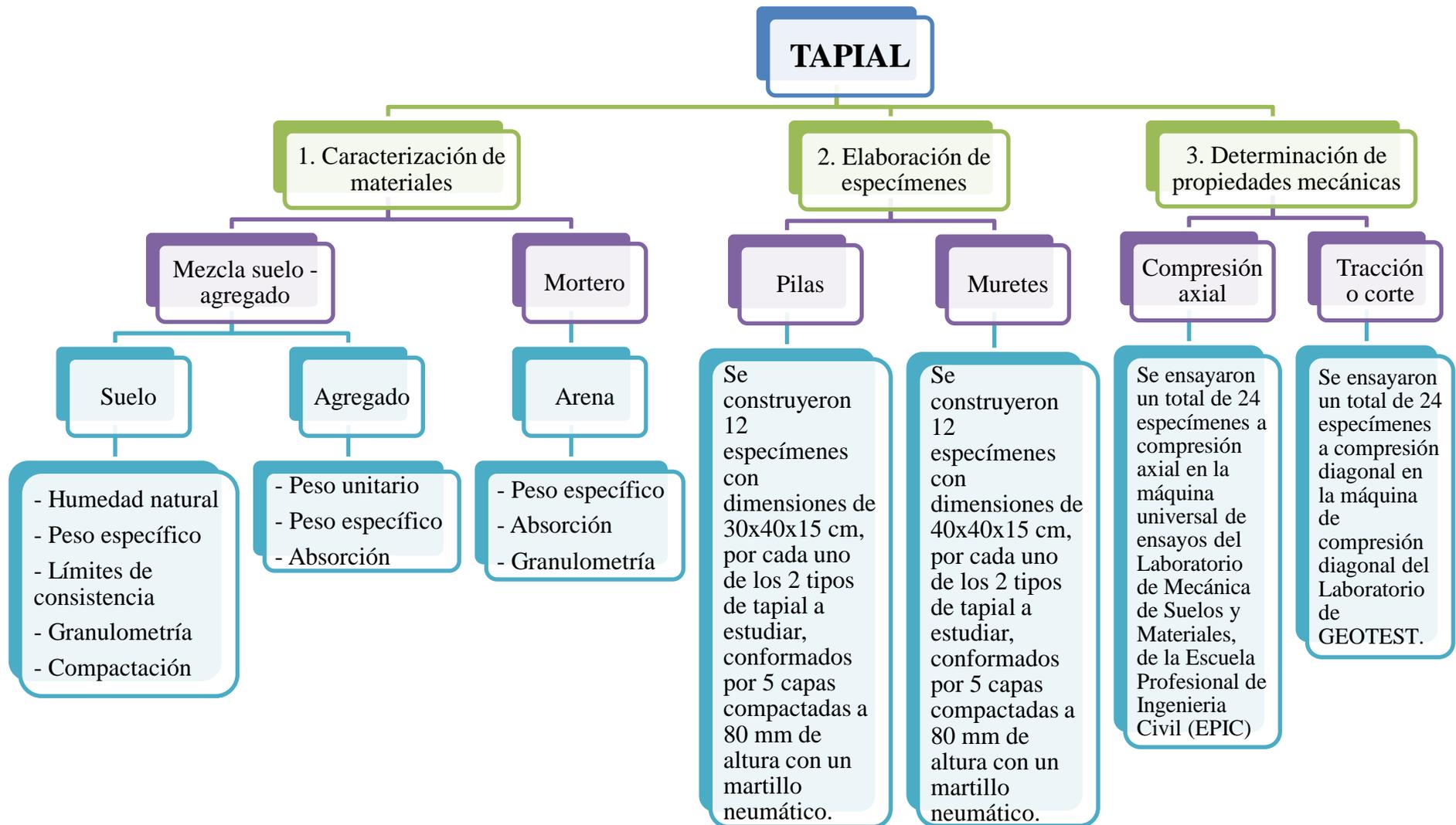
En la presente investigación, de acuerdo a los tipos de datos analizados, la metodología de investigación planteada es de tipo **cuantitativa**, ya que las variables intervinientes serán sometidas a experimentación cuyo proceso es la recolección, medición y análisis de los datos para conocer si las propiedades de compresión axial y tracción o corte de los tapiales varían con el refuerzo de hiladas de mortero de cemento – arena con una dosificación en volumen de 1:4 añadidas en las juntas de los tapiales.

3.2 NIVEL DE INVESTIGACIÓN

El nivel de investigación que se desarrolla es **cuasi – experimental**, ya que se hace una comparación, es decir si existe una variación en la propiedades de compresión axial y tracción o corte, entre las dos alternativas propuestas, tapial con refuerzo de hiladas de mortero de cemento – arena con una dosificación en volumen de 1:4 y tapial típico, de manera que este último sirva como patrón de comparación.

3.3 DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

Es la estructura esquematizada que relaciona y controla las variables de estudio con el fin de cumplir los objetivos de la investigación, a continuación se muestra el esquema general del proceso de investigación:



3.3.1 Tipo de diseño

Debido a que el objetivo de la investigación es determinar los valores de esfuerzos de compresión axial y cortante de tapias típico y reforzado; se trata de la manipulación intencional de variables, la medición, el control, la validez y varios datos de comparación; en consecuencia el diseño es considerado **experimental**.

3.3.2 Tamaño de muestra

El proyecto “GUARDERIA DE NIÑOS EN LA A.P.V. AYUDA MUTUA, 2017” [obra realizada por la Universidad de Innsbruck – Austria, proyecto de niños: “Wayna Warma – Cusco”] base para esta investigación tiene como universo las viviendas de la A.P.V. Ayuda Mutua; sin embargo solo existe una sola construcción con la técnica del tapial por lo tanto nuestra población sería el infinito y la fórmula para su cálculo del tamaño de la muestra para un número “N” de la población igual al infinito (Metodología de la Investigación Científica para Ingenieros, 2012, pág. 31) es la siguiente:

$$n = \frac{Z^2 * p * q}{e^2}$$

Donde:

n: Tamaño de la muestra.

p: Probabilidad de que la hipótesis sea verdadera.

q= (1-p): Probabilidad de no ocurrencia de la hipótesis.

e: Error estimado por estudiar una muestra en lugar de toda la población.

Z: Coeficiente de confiabilidad (Nivel de significancia) que corresponde a una distribución normal según el porcentaje de confianza requerida.

Asumimos un 80% de nivel de confianza ya que no tenemos antecedentes que nos den mayor confiabilidad. Por lo que se asume dicho valor, entonces para el 80% de confianza, su coeficiente de confiabilidad es de $Z=1.28$

Debido a que no existen estudios previos de la investigación se considera que $p=q=0.50$. Asimismo el error estimado es de: $e = 0.20$ lo cual es aceptable.

Haciendo los cálculos respectivos resulta:

$$n = \frac{1.28^2(0.5)(0.5)}{(0.2)^2}$$

$$n \cong 12$$

Por consiguiente el número de muestras para cada caso es de 12 unidades de muestras. Se tiene un total de 4 tipos de muestras, por lo que en total serían 48 muestras de tapial las que serán ensayadas.

Los especímenes de tapial (pilas y muretes) serán ensayados después de 28 días de secado.

Tabla 8 Tamaño de muestra para tapial típico y reforzado

Indicador	Tipo de ensayo	Tipo de espécimen	Dimensiones (cm)	N° de muestras
Tapial típico	Resistencia a la compresión axial	Pila	30x40x15	12
	Resistencia a la compresión diagonal	Murete	40x40x15	12
Tapial reforzado	Resistencia a la compresión axial	Pila	30x40x15	12
	Resistencia a la compresión diagonal	Murete	40x40x15	12

Fuente: Elaboración propia

3.3.3 Extracción de muestra

La investigación realizada es en base al proyecto “GUARDERÍA DE NIÑOS EN LA A.P.V. AYUDA MUTUA, 2017” [obra realizada por la Universidad de Innsbruck – Austria, proyecto de niños: “Wayna Warma – Cusco”] en la cual se adiciono hiladas de mortero de cemento – arena cuya dosificación en volumen fue de 1:5 a los muros de tapial típico; esto debido a que la zona del Cusco las lluvias son muy intensas y duraderas acompañadas por vientos fuertes los cuales son capaces de desviar las gotas de lluvias ocasionando el impacto contra los muros, y haciendo que se desgasten y erosionen, por tanto el objetivo de la adición de hiladas a los muros de tapial es la de contrarrestar el escurrimiento de agua y controlar la erosión superficial del muro.

Por lo tanto el material utilizado para la investigación son los mismos materiales utilizados en la construcción de la guardería, la tierra (materia prima del tapial) fue extraída de la APV Ayuda Mutua, la misma que se extrae para la construcción de la guardería con la ayuda de herramientas como pala y pico. Los materiales áridos como la piedra chancada (grava) y el confitillo son de la cantera de Huillque.



Figura 12. Ubicación de la muestra de trabajo.
Fuente: Imagen satelital de Google Earth

3.3.4 Caracterización de los materiales

3.3.4.1 Suelo

A) Contenido de humedad natural

MTC E 108 - 2016, BASADO EN LA NORMA ASTM D 2216

La humedad o contenido de humedad de un suelo es la relación, expresada como porcentaje, del peso de agua en una masa dada de suelo, al peso de las partículas sólidas. Se calcula el contenido de humedad de la muestra, mediante la siguiente fórmula:

$$w = \frac{\text{Peso de agua}}{\text{Peso de suelo secado al horno}} \times 100$$

Donde w es el contenido de humedad, expresado en porcentaje (%). Este modo operativo determina el peso de agua eliminada, secando el suelo húmedo hasta un peso constante en un horno controlado a 110 ± 5 °C. El peso del suelo que permanece del secado en horno es usado como el peso de las partículas sólidas. La pérdida de peso debido al secado es considerado como el peso del agua.

Tabla 9 Contenido de humedad de la muestra de suelo

Cápsula Nro.		H1	H2	H3	H4
Peso Cápsula	(gr)	58.55	58.27	61.79	58.23
Peso de Cápsula+Suelo Humedo	(gr)	87.36	93.04	99.70	86.05
Peso de Cápsula+Suelo Seco	(gr)	86.32	91.60	98.24	84.79
Peso del Suelo Seco	(gr)	27.77	33.33	36.45	26.56
Peso de Agua	(gr)	1.04	1.44	1.46	1.26
Contenido de Humedad	%	3.75%	4.32%	4.01%	4.74%

Contenido de Agua Promedio	=	4.20%
-----------------------------------	----------	--------------

Fuente: Elaboración propia

B) Peso específico relativo de las partículas de suelo

MTC E 113 - 2016, BASADO EN LA NORMA NTP 339.131

Este método de ensayo cubre la determinación del peso específico de las partículas de suelo que pasan el tamiz de 4,75 mm (N° 4) mediante un picnómetro de agua (matraz) que se llena hasta su marca, primero con agua y después con agua y la muestra de suelo. El aire atrapado entre las partículas de suelo se desaloja por ebullición o exponiendo la suspensión al vacío.

El peso seco de los sólidos en suelos finos plásticos se determina después del secado en el horno. La razón es, que en estos suelos, el secado previo forma grumos de lo que es difícil desalojar el aire atrapado. Se calcula el peso específico con la fórmula siguiente:

$$G_s = \frac{W_s}{W_{fw} + W_s - W_{fsw}}$$

Donde:

G_s : Peso específico de las partículas sólidas del suelo

W_s : Peso seco del suelo en gr.

W_{fw} : Peso del matraz + peso del agua en gr.

W_{fsw} : Peso del matraz + peso del suelo + peso del agua en gr.

Tabla 10 Peso específico del suelo

Muestra N°		E1	E2
Peso Suelo Seco	(gr)	59.21	58.95
Peso Picnómetro + Agua	(gr)	676.65	676.09
Peso Picnómetro + Agua + Suelo Seco	(gr)	714.27	713.80
Peso Específico		2.74	2.78

Peso Específico	Gs	=	2.76
------------------------	-----------	----------	-------------

Fuente: Elaboración propia

C) Límites de plasticidad: límite líquido y plástico

MTC E 110 Y 111 - 2016, BASADO EN LA NORMA NTP 339.129

La plasticidad es la propiedad de un material por la que es capaz de soportar deformaciones rápidas, sin rebote elástico, sin variación volumétrica apreciable y sin desmoronarse ni agrietarse. Un suelo se puede comportar, dependiendo del contenido de agua presente en él, como un líquido, plástico o un sólido.

Límite líquido (LL): Es el contenido de humedad, expresado en porcentaje, para el cual el suelo se halla en el límite entre los estados líquido y plástico. Arbitrariamente se designa como el contenido de humedad al cual el surco separador de dos mitades de una pasta de suelo se cierra a lo largo de su fondo en una distancia de 13 mm (1/2 pulg) cuando se deja caer la copa 25 veces desde una altura de 1 cm a razón de dos caídas por segundo.

Límite plástico (LP): Es la humedad más baja con la que se puede formarse barritas de suelo de unos 3,2 mm (1/8”) de diámetro, rodando dicho suelo entre la palma de la mano y una superficie lisa (vidrio esmerilado), sin que dichas barritas de desmoronen. Es el contenido de humedad para el cual los suelos cohesivos pasan del estado semi-sólido al estado plástico.

Índice de plasticidad (IP): El rango de contenido de agua sobre el cual un suelo se compara plásticamente. El índice de plasticidad de un suelo se define numéricamente como la diferencia entre su límite líquido y su límite plástico.

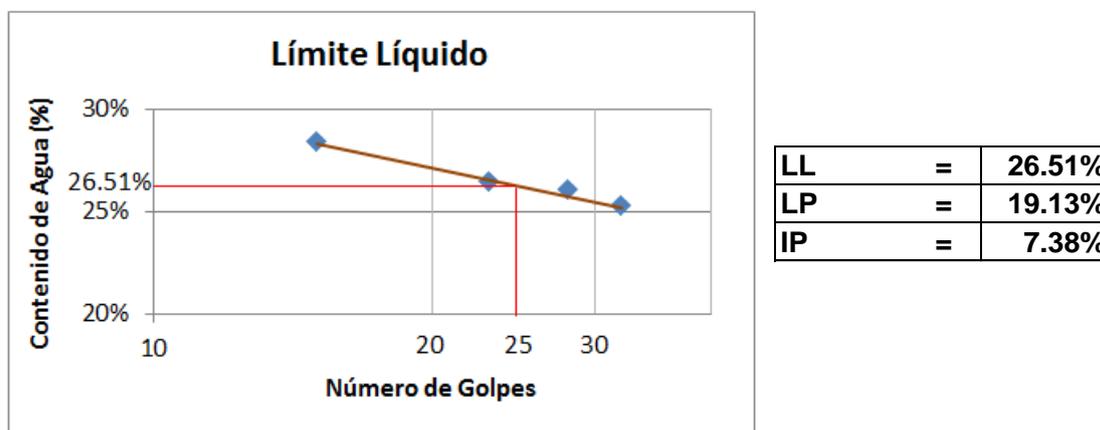


Figura 13. Límite líquido, plástico e índice de plasticidad de la muestra de suelo.
Fuente: Elaboración propia.

D) Análisis granulométrico

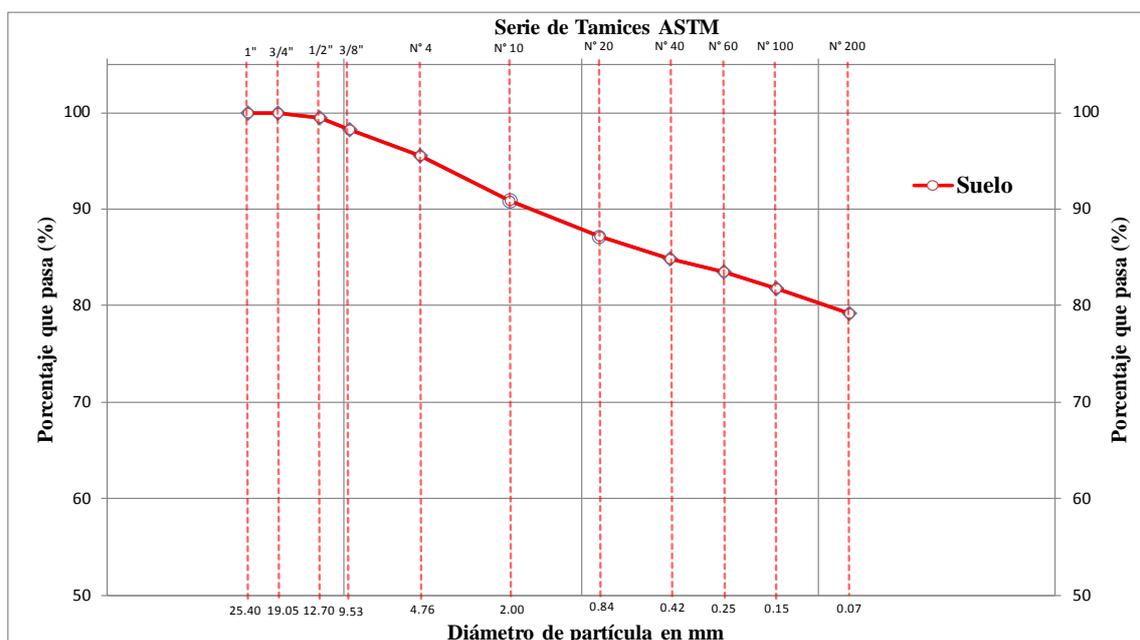
MTC E 107 - 2016, BASADO EN LA NORMA ASTM D 422

Su objeto es determinar en porcentaje en peso la distribución de tamaños de partículas de suelo, con el fin de obtener los datos necesarios para construir la curva de distribución granulométrica del suelo. La muestra de suelo se hace pasar sucesivamente a través de un juego de tamices de aberturas descendentes, hasta la malla N° 200; los retenidos en cada

La muestra se pesa y el porcentaje que representan respecto al peso de la muestra total se suma a los porcentajes retenidos en todas las mallas de mayor tamaño; el complemento al 100% de esa cantidad da el porcentaje de suelo que es menor que el tamaño representado por la malla en cuestión.

El método se dificulta cuando estas aberturas son pequeñas y por ejemplo, el cribado a través de la malla N° 200 suele requerir agua para ayudar el paso de la muestra (procedimiento de lavado).

Los tamices utilizados fueron 3/4", 1/2", 3/8", N° 4, N° 10, N° 20, N° 40, N° 60, N° 100, N° 200 y material fino retenido en la cazuela (limos y arcillas).



% de Grava	=	4.41%
% de Arena	=	16.75%
% de Finos	=	78.84%

Figura 14. Curva de distribución granulométrica de la muestra de suelo.

Fuente: Elaboración propia.

E) Compactación proctor modificado

MTC E 115 - 2016, BASADO EN LA NORMA ASTM D 1557

Se entiende por compactación de los suelos el mejoramiento artificial de sus propiedades mecánicas por medios mecánicos. La importancia de la compactación de los suelos estriba en el aumento de resistencia y disminución de capacidad de deformación que se obtienen al sujetar el suelo a técnicas convenientes que aumenten su peso específico seco, disminuyendo sus vacíos.

La humedad óptima de compactación es determinada en laboratorio (ensayos de compactación) a través de la medida de la masa específica del suelo en diferentes humedades, cuando él es compactado en un determinado molde.

La humedad óptima es una variable que depende de la energía de compactación (E. Juárez; A. Rico, 1976)

Para determinar la relación entre el contenido de agua y peso unitario seco de los suelos (curva de compactación) compactados se utiliza un molde de 101,6 ó 152,4 mm (4 ó 6 pulg) de diámetro con un pisón de 44,5 N (10 lbf) que cae de una altura de 457 mm (18 pulg), produciendo una energía de compactación de 2700 kN-m/m³ (56000 pie-lbf/pie³).

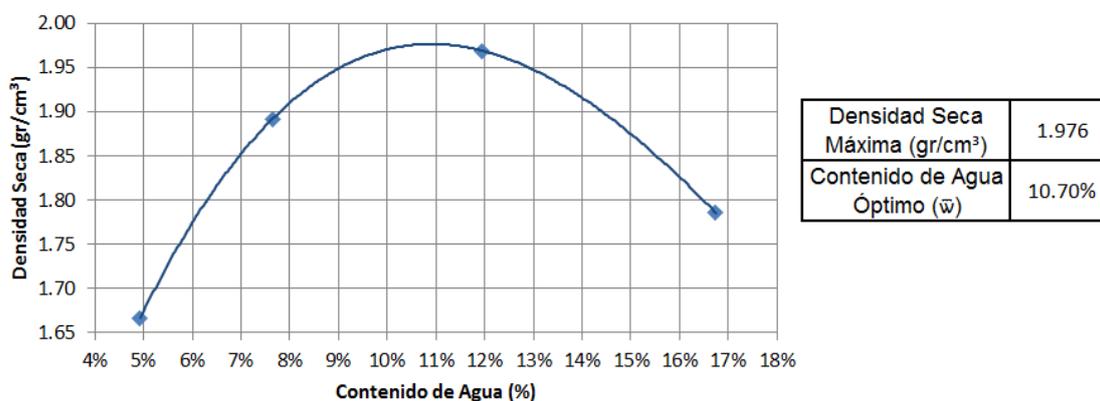


Figura 15. Curva de compactación de la muestra de suelo.
Fuente: Elaboración propia.

3.3.4.2 Agregado

A) Peso unitario del agregado

MTC E 203 - 2016, BASADO EN LA NORMA NTP 400.017

El peso unitario del material, se obtiene dividiendo la masa del material entre el volumen que ocupa dicho material, tal como se indica a continuación:

$$M = \frac{G - T}{V}$$

Donde:

M: Peso unitario del agregado en Kg/m³

G: Peso del recipiente de medida más el agregado en Kg

T: Peso del recipiente de medida en Kg

V: Volumen del recipiente de medida en m³.

El procedimiento para la determinación del peso unitario compacto para agregados de tamaño máximo nominal de 37.5 mm (1 ½") o menos, es la de llenar la tercera parte del recipiente con el agregado, y emparejar la superficie con los dedos. Apisonar la capa de agregado con 25 golpes de la varilla distribuidos uniformemente, utilizando el extremo

semiesférico de la varilla. Llenar las 2/3 partes del recipiente, volviendo a emparejar la superficie y apisonar como anteriormente se describe. Finalmente llenar el recipiente hasta colmarlo y apisonar otra vez de la manera antes mencionada. Al apisonar la primera capa, evitar que la varilla golpee el fondo del recipiente. Al apisonar las capas superiores, aplicar la fuerza necesaria para que la varilla atraviese solamente la respectiva capa.

Una vez colmado el recipiente, enrasar la superficie con la varilla, usándola como regla, determinar el peso del recipiente lleno y peso del recipiente solo, y registrar pesos con aproximación de 0.05 Kg, así como el volumen en m³. A continuación se muestran los pesos unitarios del agregado fino y grueso.

Tabla 11 Peso unitario compactado del agregado fino

Muestra N°	U1	U2	U3
Peso Molde (Kg)	4.240	4.240	4.240
Peso Molde + Muestra Compactada (Kg)	5.864	5.912	5.904
Peso Muestra Compactada (Kg)	1.624	1.672	1.664
Peso Unitario Compactado (Kg/m ³)	1798.04	1851.18	1842.32

Peso Unitario Compactado (Kg/m³) 1830.51

Fuente: Elaboración propia

Tabla 12 Peso unitario compactado del agregado grueso

Muestra N°	P1	P2	P3
Peso Molde (Kg)	6.508	6.508	6.508
Peso Molde + Muestra Compactada (Kg)	9.648	9.757	9.706
Peso Muestra Compactada (Kg)	3.140	3.249	3.198
Peso Unitario Compactado (Kg/m ³)	1524.71	1577.64	1552.88

Peso Unitario Compactado (Kg/m³) 1551.74

Fuente: Elaboración propia

B) **Peso específico y absorción del agregado**

MTC E 205 Y 206 - 2016, BASADOS EN LA NORMA NTP 400.022 Y 400.021

El peso específico es la característica generalmente usada para calcular el volumen ocupado por el agregado en varias mezclas que contienen agregados. Relaciona el peso contenido de un material con respecto a su volumen, se obtiene dividiendo un peso conocido del material entre el volumen que ocupa.

Los valores de absorción son usados para calcular el cambio en la masa de un agregado debido al agua absorbida entre los espacios de los poros entre las partículas constituyentes, comparado a la condición seca, cuando es estimado que el agregado ha estado en contacto con el agua lo suficiente para satisfacer la mayor absorción potencial.

Una muestra de agregado se sumerge en agua por 24 horas aproximadamente para llenar los poros esencialmente. Luego se retira del agua, se seca el agua de la superficie de las partículas, y se pesa. La muestra se pesa posteriormente mientras es sumergida en agua. Finalmente la muestra es secada al horno y se pesa una tercera vez. Usando los pesos así obtenidos y fórmulas en este modo operativo, es posible calcular el peso específico y la absorción.

- a) Peso específico de masa saturada con superficie seca (P_{eSSS})

$$P_{eSSS} = \frac{B}{B - C} \times 100$$

- b) Absorción (A_b)

$$A_b (\%) = \frac{B - A}{C} \times 100$$

Donde:

A: Peso de la muestra seca en el aire, gramos;

B: Peso de la muestra saturada superficialmente seca en el aire, gramos;

C: Peso en el agua de la muestra saturada.

Tabla 13 Peso específico y absorción del agregado fino

Muestra N°	F1
Peso de la Muestra Seca en el Aire (gr)	472.88
Peso del Frasco + Agua (gr)	641.82
Peso de la Muestra Saturada Superficialmente Seca en el Aire (gr)	500.00
Peso del Frasco + Agua con la Muestra Saturada (gr)	948.35
Peso Específico de Masa Saturada con Superficie seca (P_{eSSS})	2.44

Peso Específico (P_{eSSS})	2.44
-------------------------------------------	-------------

Absorción	5.74%
------------------	--------------

Fuente: Elaboración propia

Tabla 14 Peso específico y absorción del agregado grueso

Muestra N°		G1
Peso de la Muestra Seca en el Aire	(gr)	494.11
Peso de la Probeta + Agua	(gr)	1148.36
Peso de la Muestra Saturada Superficialmente Seca en el Aire	(gr)	500.30
Peso de la Probeta + Agua con la Muestra Saturada	(gr)	1465.85
Peso Especifico de Masa Saturada con Superficie seca (P_{esss})		2.70

Peso Especifico (P_{esss})	2.70
-------------------------------------------	-------------

Absorción	1.25%
------------------	--------------

Fuente: Elaboración propia

3.3.4.3 Arena

A) **Peso específico y absorción de la arena**

MTC E 205 - 2016, BASADO EN LA NORMA NTP 400.022

Colocar el agregado fino obtenido por cuarteo y secado a peso constante a una temperatura de 110 ± 5 °C en un recipiente y cubrir con agua dejando reposar durante 24 horas. Decantar el agua evitando pérdida de finos y extender el agregado sobre una superficie plana expuesta a una corriente de aire tibio y remover frecuentemente para el secado uniforme, hasta que las partículas del agregado no se adhieran marcadamente entre sí. Colocar en el molde cónico y golpear la superficie suavemente 25 veces con la varilla para apisonado y levantar luego el molde. Si existe humedad libre el cono de agregado fino mantiene su forma. Seguir secando, revolver constantemente y probar hasta que el cono se derrumbe al quitar el molde, lo que indica que el agregado fino alcanzó una condición de superficie seca. Introducir en el frasco una muestra de 500 g de material preparado, llenar parcialmente con agua a una temperatura de 23 ± 2 °C hasta alcanzar la marca de 500 cm³. Agitar el frasco para eliminar burbujas de aire de manera manual o mecánicamente. Después de eliminar las burbujas de aire, determinar el peso total del frasco, espécimen y agua. Remover el agregado fino del frasco, secar en el horno hasta peso constante a una temperatura de 110 ± 5 °C, enfriar a temperatura ambiente por $\frac{1}{2}$ a $1 \frac{1}{2}$ hora y determinar el peso.

A) **Peso específico de masa saturada con superficie seca (P_{esss})**

$$P_{esss} = \frac{W_0}{V + 500 - V_a} \times 100$$

B) Absorción (A_b)

$$A_b (\%) = \frac{500 - W_0}{W_0} \times 100$$

Donde:

W_0 : Peso en el aire de la muestra secada en el horno, gramos;

V : Peso del frasco (picnómetro de 500 cm³ de capacidad) más agua, gramos;

V_a : Peso del frasco más agua y la muestra saturada en gramos.

Tabla 15 Peso específico y absorción de la mezcla de arena y confitillo

Muestra N°		A1
Peso de la Muestra Seca en el Aire	(gr)	472.56
Peso del Frasco + Agua	(gr)	646.13
Peso de la Muestra Saturada Superficialmente Seca en el Aire	(gr)	500.00
Peso del Frasco + Agua con la Muestra Saturada	(gr)	952.01
Peso Específico de Masa Saturada con Superficie seca (Pesss)		2.43

Peso Específico (Pesss)	2.43
--------------------------------	-------------

Absorción	5.81%
------------------	--------------

Fuente: Elaboración propia

B) **Análisis granulométrico de la arena**

MTC E 204 - 2016, BASADO EN LA NORMA NTP 400.012

El objetivo del análisis granulométrico es determinar por medio de una serie de tamices de abertura cuadrada, dispuestos sucesivamente de mayor a menor abertura, la distribución cuantitativa de partículas de agregados grueso y fino en una muestra de peso conocido.

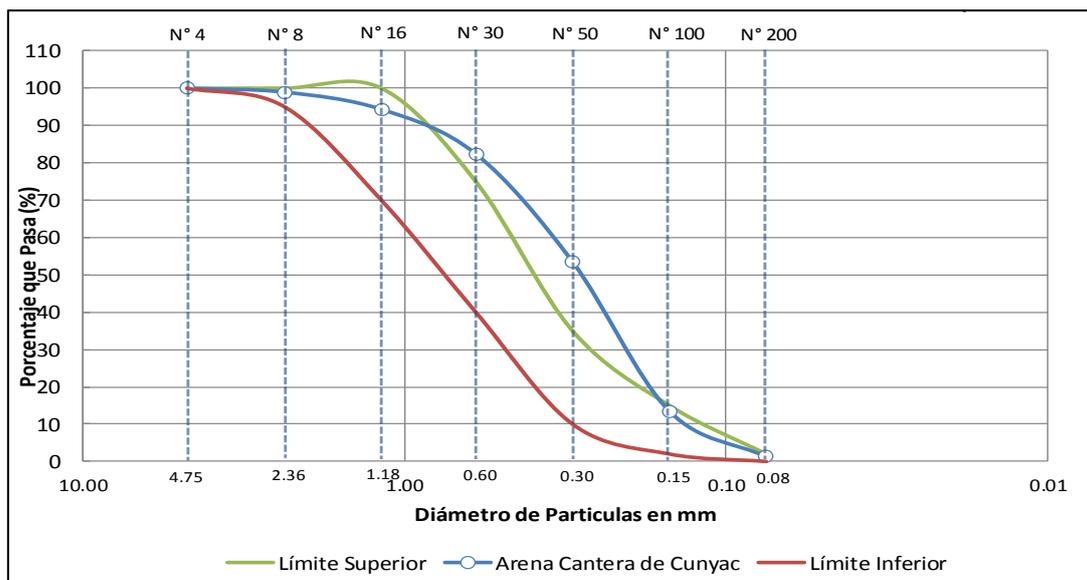


Figura 16. Curva de distribución granulométrica de la arena - cantera de Cunyac.

Fuente: Elaboración propia.

En la curva de distribución granulométrica de la arena de la cantera de Cunyac se observa, que dicha curva está totalmente fuera de los parámetros que recomienda la norma E.070 – Albañilería, para la producción de morteros. Ante ello se hizo la corrección, combinando confitillo de la cantera de Vicho, hasta encontrar la dosificación correcta, la cual fue arena en 45%, y confitillo en 55% (lo que pasa el tamiz N° 16). Con esta combinación entre arena y confitillo cumple los parámetros establecidos por la norma E.070 – Albañilería (ver *Figura 17*)

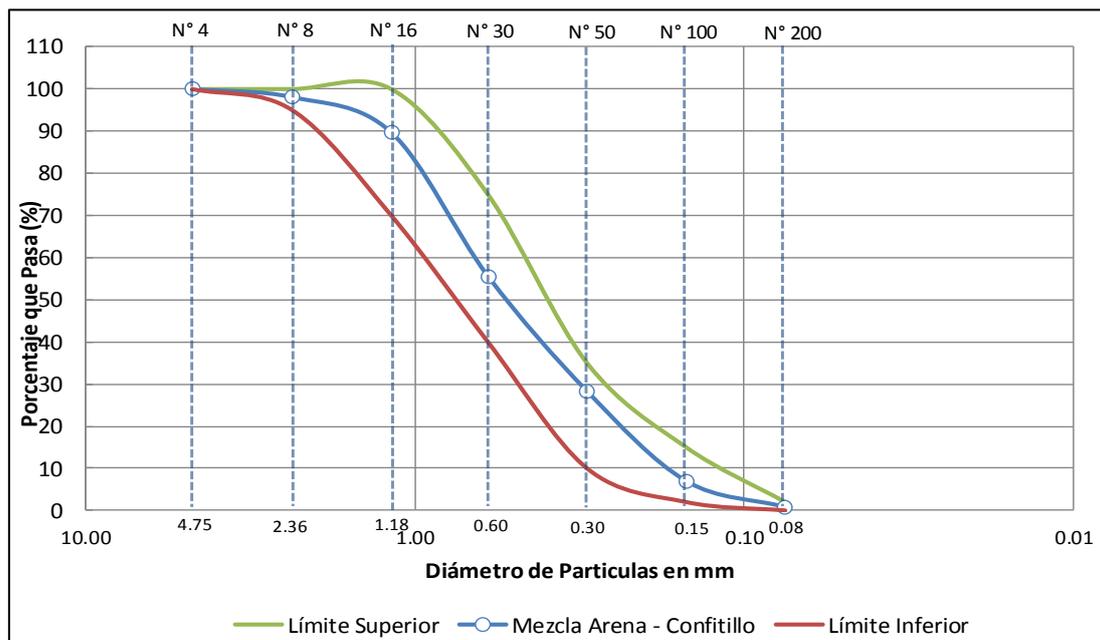


Figura 17. Curva de distribución granulométrica de la mezcla de arena y confitillo.
Fuente: Elaboración propia.

3.3.4.4 Mezcla de suelo – agregado

A) Contenido de humedad inicial

MTC E 108 - 2016, BASADO EN LA NORMA ASTM D 2216

La humedad o contenido de humedad de un suelo es la relación, expresada como porcentaje, del peso de agua en una masa dada de suelo, al peso de las partículas sólidas. Se calcula el contenido de humedad de la muestra, mediante la siguiente fórmula:

$$w = \frac{\text{Peso de agua}}{\text{Peso de suelo secado al horno}} \times 100$$

Donde w es el contenido de humedad, expresado en porcentaje (%). Este modo operativo determina el peso de agua eliminada, secando el suelo húmedo hasta un peso constante en un horno controlado a 110 ± 5 °C. El peso del suelo que permanece del secado en horno es

usado como el peso de las partículas sólidas. La pérdida de peso debido al secado es considerado como el peso del agua.

El contenido de humedad de la mezcla de suelo – agregado se tomó un día anterior a la preparación de la mezcla de suelo – agregado con agua, para hacer la respectiva corrección por humedad de los materiales.

Tabla 16 Contenido de humedad de la muestra de trabajo.

Cápsula Nro.		H1	H2
Peso Cápsula	(gr)	59.28	57.33
Peso de Cápsula+Suelo Humedo	(gr)	204.97	190.79
Peso de Cápsula+Suelo Seco	(gr)	200.76	187.17
Peso del Suelo Seco	(gr)	141.48	129.84
Peso de Agua	(gr)	4.21	3.62
Contenido de Humedad	%	2.98%	2.79%

Contenido de Agua Promedio	=	2.88%
-----------------------------------	----------	--------------

Fuente: Elaboración propia

B) Límites de plasticidad: límite líquido y plástico

MTC E 110 Y 111 - 2016, BASADOS EN LA NORMA NTP 339.129

La plasticidad es la propiedad de un material por la que es capaz de soportar deformaciones rápidas, sin rebote elástico, sin variación volumétrica apreciable y sin desmoronarse ni agrietarse. Un suelo se puede comportar, dependiendo del contenido de agua presente en él, como un líquido, plástico o un sólido.

Límite líquido (LL): Es el contenido de humedad, expresado en porcentaje, para el cual el suelo se halla en el límite entre los estados líquido y plástico. Arbitrariamente se designa como el contenido de humedad al cual el surco separador de dos mitades de una pasta de suelo se cierra a lo largo de su fondo en una distancia de 13 mm (1/2 pulg) cuando se deja caer la copa 25 veces desde una altura de 1 cm a razón de dos caídas por segundo.

Límite plástico (LP): Es la humedad más baja con la que se puede formarse barritas de suelo de unos 3,2 mm (1/8") de diámetro, rodando dicho suelo entre la palma de la mano y una superficie lisa (vidrio esmerilado), sin que dichas barritas de desmoronen. Es el contenido de humedad para el cual los suelos cohesivos pasan del estado semi-sólido al estado plástico.

Índice de plasticidad (IP): El rango de contenido de agua sobre el cual un suelo se compara plásticamente. El índice de plasticidad de un suelo se define numéricamente como la diferencia entre su límite líquido y su límite plástico.

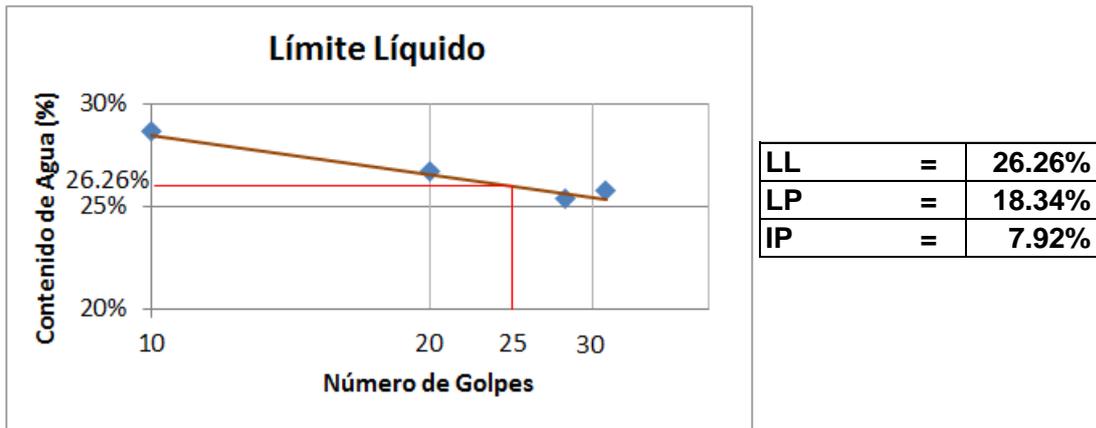


Figura 18. Límite líquido, plástico e índice de plasticidad de la muestra de trabajo.
Fuente: Elaboración propia.

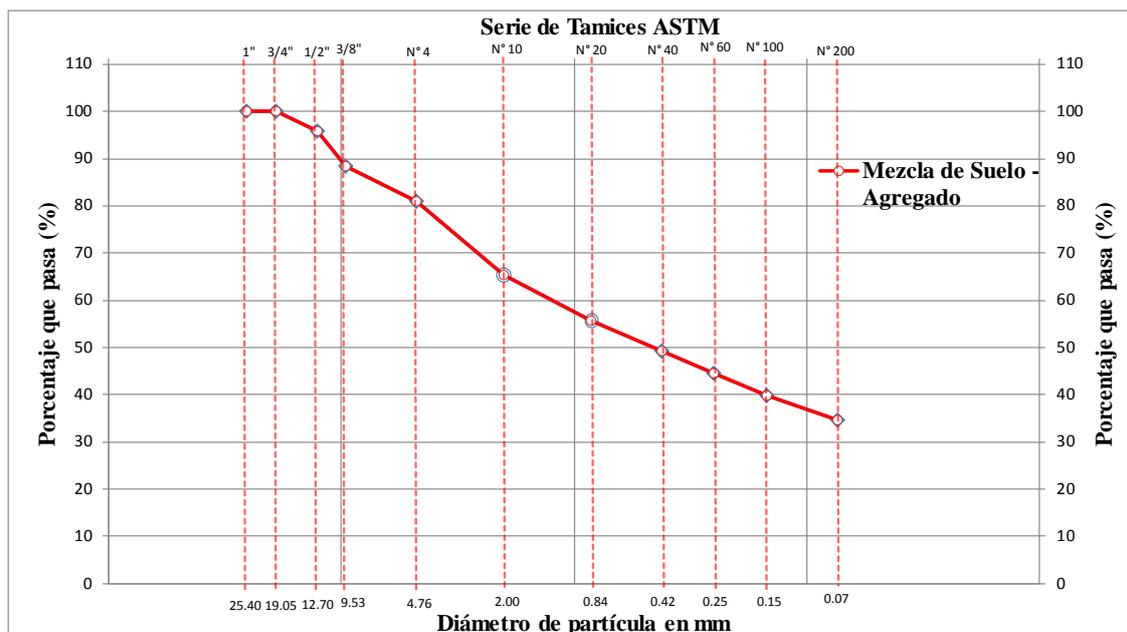
C) Análisis granulométrico de la mezcla de suelo – agregado

MTC E 107 - 2016, BASADO EN LA NORMA ASTM D 422

Su objeto es determinar en porcentaje en peso la distribución de tamaños de partículas de suelo, con el fin de obtener los datos necesarios para construir la curva de distribución granulométrica del suelo. La muestra de suelo se hace pasar sucesivamente a través de un juego de tamices de aberturas descendentes, hasta la malla N° 200; los retenidos en cada malla se pesan y el porcentaje que representan respecto al peso de la muestra total se suma a los porcentajes retenidos en todas las mallas de mayor tamaño; el complemento al 100% de esa cantidad da el porcentaje de suelo que es menor que el tamaño representado por la malla en cuestión.

El método se dificulta cuando estas aberturas son pequeñas y por ejemplo, el cribado a través de la malla N° 200 suele requerir agua para ayudar el paso de la muestra (procedimiento de lavado).

Los tamices utilizados fueron ¾”, ½”, 3/8”, N° 4, N° 10, N° 20, N° 40, N° 60, N° 100, N° 200 y material fino retenido en la cazuela (limos y arcillas).



% de Grava	=	19.13%
% de Arena	=	46.67%
% de Finos	=	34.19%

Figura 19. Curva de distribución granulométrica de la muestra de trabajo.

Fuente: Elaboración propia.

D) Compactación de la mezcla de suelo – agregado

MTC E 115 - 2016, BASADO EN LA NORMA ASTM D 1557

Se entiende por compactación de los suelos el mejoramiento artificial de sus propiedades mecánicas por medios mecánicos. La importancia de la compactación de los suelos estriba en el aumento de resistencia y disminución de capacidad de deformación que se obtienen al sujetar el suelo a técnicas convenientes que aumenten su peso específico seco, disminuyendo sus vacíos.

La humedad óptima de compactación es determinada en laboratorio (ensayos de compactación) a través de la medida de la masa específica del suelo en diferentes humedades, cuando él es compactado en un determinado molde.

La humedad óptima es una variable que depende de la energía de compactación (E. Juárez; A. Rico, 1976)

Para determinar la relación entre el contenido de agua y peso unitario seco de los suelos (curva de compactación) compactados se utiliza un molde de 101,6 ó 152,4 mm (4 ó 6 pulg) de diámetro con un pisón de 44,5 N (10 lbf) que cae de una altura de 457 mm (18 pulg), produciendo una energía de compactación de 2700 kN-m/m³ (56000 pie-lbf/pie³).

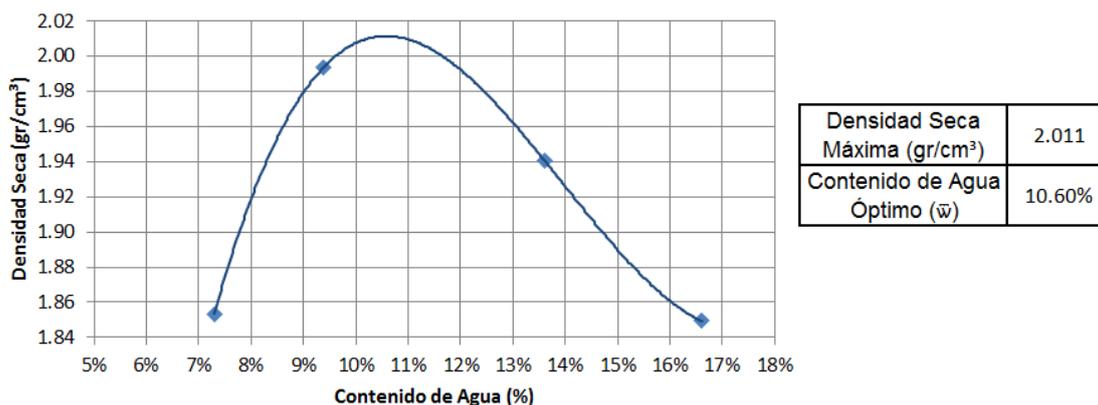


Figura 20. Curva de compactación de la muestra de trabajo.

Fuente: Elaboración propia.

En la *Tabla 17* se hace una comparación de los resultados obtenidos de la muestra de trabajo (grava arcillosa – GC), con normas y otros autores que recomiendan si se puede o no construir con un suelo dado.

Tabla 17 Parámetros para la construcción con tapial

Referencia	Textura (%)				Tamaño Máximo	Plasticidad	
	Arcilla	Limo	Arena	Grava		LL (%)	IP (%)
NTE E.080	10 - 20	15 - 25	55 - 70				
CRATERRE*	15 - 25	20 - 35	40 - 50	0 - 15			
CEET Y DES*	10 - 30	15 - 25	40 - 65	5 - 20			
SAZS 724	5 - 15	15 - 30	50-70 (Arena+Grava Fina)				
PIET 70**	10 - 40	20 - 40	10 - 40	10 - 20	20 mm	< 40	6 - 22
Houben y Guillaud	8 - 16					25 - 46	2 - 30
Muestra de Trabajo	34		47	19	20 mm	26	8

*arcilla<0,002 mm; limo de 0,002 a 0,06 mm; arena de 0,06 a 2 mm; grava de 2 – 20 mm

**arcilla<0,002 mm; limo de 0,002 a 0,5 mm; arena de 0,5 a 5 mm; gravilla de 5 – 20 mm

Fuente: Elaboración propia

3.3.5 Elaboración de especímenes

Según la Norma E.070 de albañilería, la elaboración de pequeños prismas de albañilería simple llamados Prismas (pilas) y Muretes, permite obtener las propiedades de la albañilería, para lo cual deben ser construidos bajo las mismas condiciones y dosificación de los muros reales. Estos ensayos nos permiten obtener:

- Las resistencias a compresión axial ($f'm$) y a corte ($v'm$) de la albañilería.
- Los módulos de elasticidad (E_m) y de corte (G_m).
- Las diferentes formas de falla, así se puede predecir la manera de falla de los muros a escala real.

Los prismas construidos deben tener una dimensión adecuada para poder manipularlas y montarlas en el laboratorio.

Previo al ensayo de compresión en pilas, en las zonas en contacto con los cabezales metálicos del equipo de ensayo, se aplica un capping blando de yeso-cemento con 3 a 5 mm de grosor con el objetivo de corregir las irregularidades que se presentan en la capa superior de la albañilería; así se evita fallas locales por concentraciones de esfuerzo tanto en pilas como en muretes.

3.3.5.1 Pilas de albañilería – tapial

Se construyeron un total de 24 especímenes, con dimensiones de 30 x 40 x 15 cm. conformados por 5 capas compactadas a 80 mm de altura con un martillo neumático. Se procuró controlar las dimensiones en todas las pilas. La altura se controló con el escotillón y la verticalidad con nivel y plomada.

Al terminar la construcción de las pilas, previo al ensayo de compresión axial, se colocó capping en la parte superior de cada pila para uniformizar la superficie de contacto y así poder repartir la carga uniformemente, evitando generar concentraciones de esfuerzo.

Se construyeron 12 pilas por las dos variables a estudiar. Los que fueron: tapial típico y tapial con hiladas de mortero de cemento – arena con una dosificación en volumen de 1:4 en las juntas.

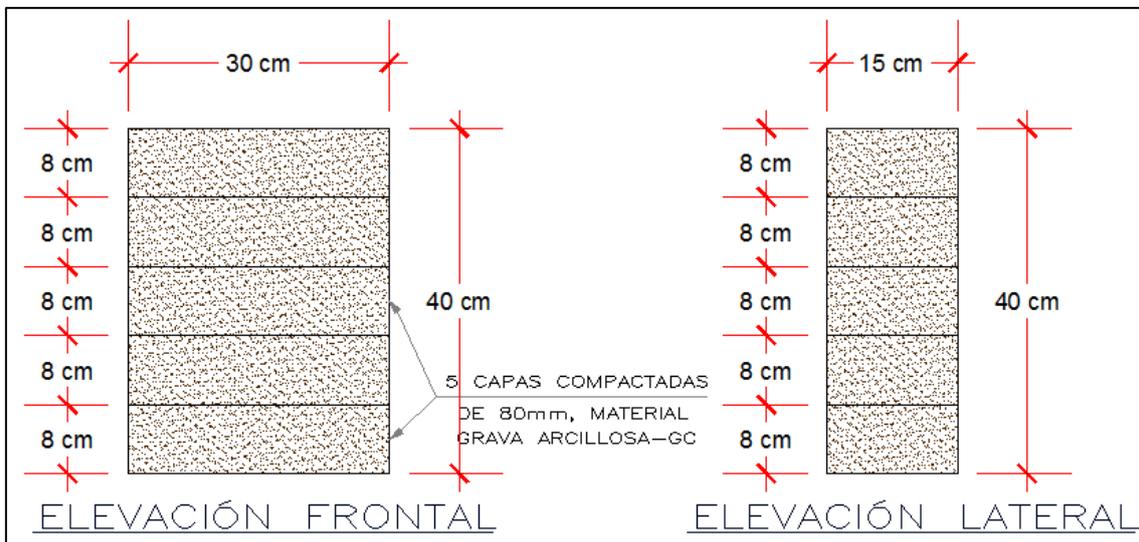


Figura 21. Configuración dimensional de las pilas típicas de tapial.

Fuente: Elaboración propia.

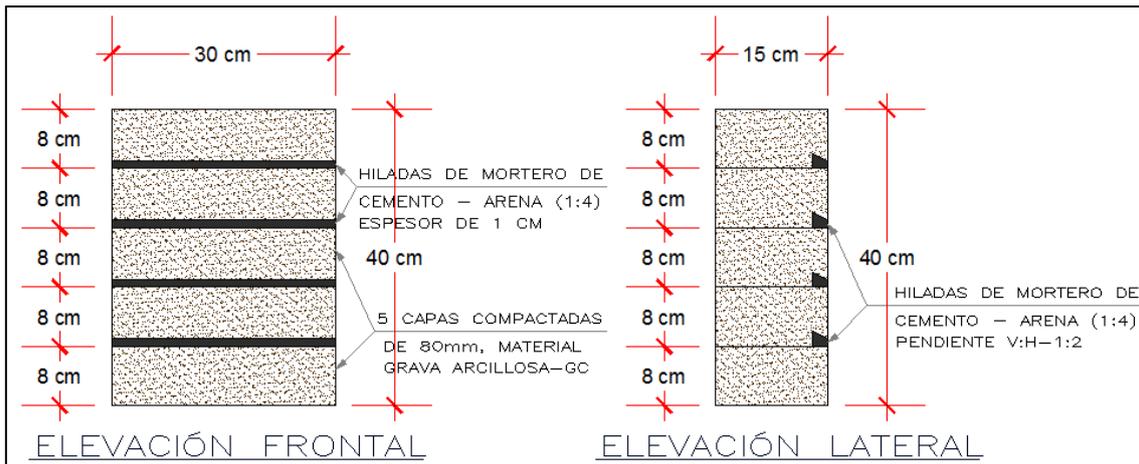


Figura 22. Configuración dimensional de las pilas reforzadas de tapial.

Fuente: Elaboración propia.

Las pilas fueron ensayadas a compresión axial, las 24 pilas fueron ensayadas en la Máquina Universal de Ensayos (ver Figura 34) una vez terminado el periodo de secado, el cual fue de 28 días; los resultados promedio aparecen en las Tablas 24 y 25.

La codificación de las pilas de tapial es como se muestra a continuación:

- a. Pilas típicas = PT
- b. Pilas reforzadas = PR

A) Procedimiento de construcción

El tapial en la mayoría de las situaciones se hace in situ. La tierra debe de estar debidamente preparada para ser echada en el molde, que debe de estar correctamente montado para iniciar la compactación. La compactación del suelo es la operación más laboriosa en el trabajo, Heise (2003) afirma que la preparación de la tierra y las actividades de montaje y desmontaje del molde son las que consumen el mayor tiempo.

Como el molde constituye el mayor impacto económico y las actividades de montaje y desmontaje tienen peso significativo en la productividad, es evidente la atención que debe darse al diseño del molde y a la secuencia de montaje. Con los moldes montados, comienza la labor de compactación.

A.1) Montaje del encofrado

Lo que caracteriza la construcción de tapias es el empleo de moldes o encofrados, dentro de los cuales se vierte el suelo ya preparado para ser compactado. Durante el proceso de construcción deberá conservarse la verticalidad de los muros, a pesar de la existencia de vibraciones, y mantener constantes las dimensiones de ancho del muro, a pesar de las presiones laterales que ejerce el material apisonado, por lo que es necesario que los

encofrados sean preparados para que resistan dichos empujes y vibraciones. De otro lado, concluida la compactación de un tramo de muro, será necesario retirar y desplazar el encofrado a su nueva ubicación evitando que sea necesario invertir mucho tiempo en su aplomado.

Existen, entre otros, 2 procedimientos constructivos muy difundidos, uno se basa en “guías” que permiten elevar el encofrado con facilidad y el otro es el caso de los encofrados “deslizantes” que se basa en construir sectores del muro que sirven de guía en la construcción de los demás muros (Célia Neves, M., 2003). En el Perú es más común observar encofrados deslizantes ya que los pobladores no cuentan con muchos recursos para conseguir madera.

En el Perú los moldes tradicionalmente utilizados son de madera, poseen dimensiones no uniformes, varían según las localidades donde son utilizados. Emplean troncos de madera y sogas para la sujeción de la madera usada en el encofrado. El desgaste de las sogas produce peligro en el moldeo y no uniformidad en las dimensiones de los tapiales.

Los moldes o encofrados utilizados para la preparación de las pilas de tapiales son las que se muestran a continuación.

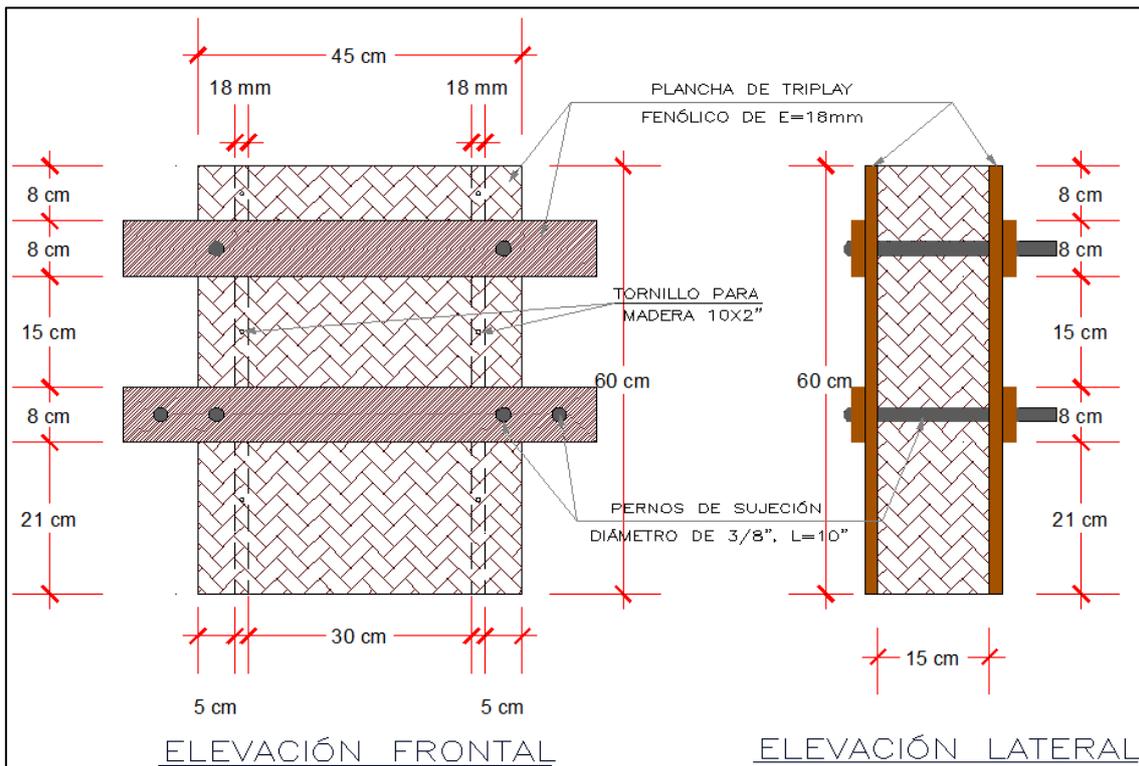


Figura 23. Elevación frontal y lateral del encofrado para la construcción de pilas.
Fuente: Elaboración propia.

Los encofrados tienen agujeros cuyo diámetro permite colocar varillas de fierro que funcionan como puntajes para sujetar los encofrados laterales ayudando a mantener su forma ante los impactos que el apisonamiento produce durante el moldeo.

A.2) Preparación de la mezcla de tierra – agregado

La tierra será extraída de la obra: “GUARDERIA DE NIÑOS EN LA A.P.V. AYUDA MUTUA, 2016”, y transportado al lugar de trabajo (Laboratorio de mecánica de suelos y materiales – UNSAAC) es necesario pulverizar los terrones grandes, y dispersarlos para secarse.

Con el suelo pulverizado y seco se realiza el cribado a través de un tamiz de abertura de 3/4”. El suelo cribado se mezcla con agregado de 3/4", 1/2" y confitillo. La mezcla debe ser preparada en seco, hasta obtener una mezcla uniforme. Luego, lentamente, hay que añadir el agua hasta que alcance el contenido óptimo de humedad para la compactación.



Figura 24. Preparación de la tierra con la adición de agregado grueso y confitillo.
Fuente: Elaboración propia.

A.3) Compactación de la tierra

El molde debe estar nivelado, aplomado y finalmente trabado. Entonces, la tierra es echada en el molde y desparramada hasta formar una capa plana de unos 130 mm de altura. La tierra es compactada con golpes continuos (compactador neumático) hasta llegar a una altura de 80 mm. Al finalizar la compactación de cada capa se debe nivelar la parte superior de la capa con una paleta de madera. Después de la compactación de la primera capa se debe comprobar de nuevo la plomada y el nivel del molde.

El molde es desmontado una vez que ha finalizado la compactación. Esto debe hacerse con cuidado para evitar daños a la superficie de la pared. Si se necesitan reparaciones menores, se debe aplicar un mortero hecho con el mismo suelo y, por lo menos, el doble de la cantidad de aglomerante utilizado en la mezcla.

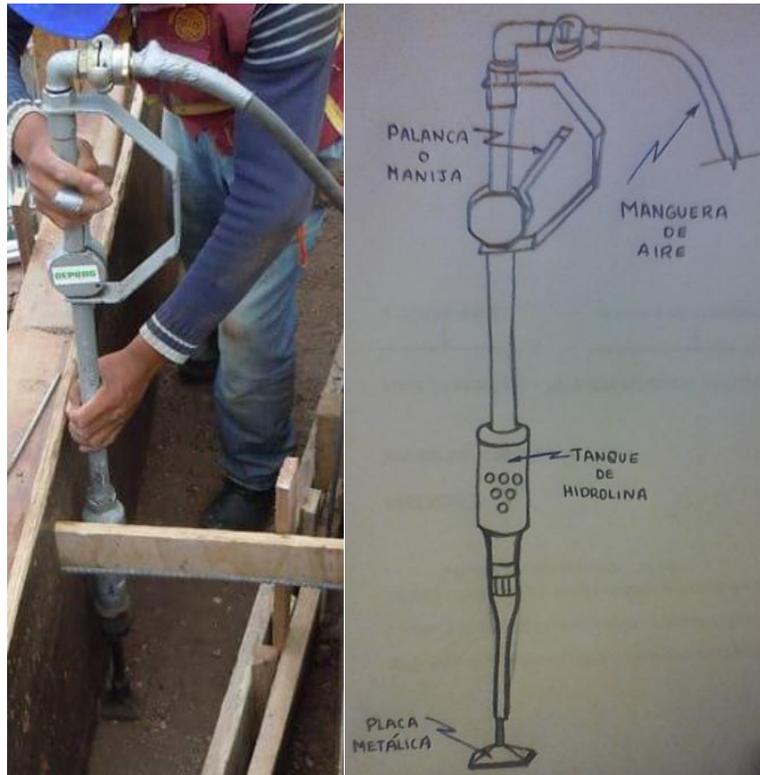


Figura 25. Compactador neumático de aguja.

Fuente: Elaboración propia.

Para la compactación de la mezcla de suelo – agregado se utilizó un compactador neumático de aguja. Este funciona como un martillo neumático, tiene una frecuencia de 100 golpes/minuto y pesa aproximadamente 11 kg., que funciona por medio de un compresor de aire. Este compactador necesita una presión de 2 a 4 bares y un flujo de aire de 0.4 a 0.9 m³/min. El pisón es muy apropiado para la compactación de las esquinas, ya que tiene una cabeza fija rectangular que no rota.

Existen varios factores que intervienen en la compactación de suelos, y más aún si el proceso de construcción es artesanal, los cuales son: el tiempo de compactación, el contenido inicial de agua, la energía específica de compactación y el contenido de agua original de la mezcla de suelo – agregado. Estos factores son los que determinan el aumento de resistencia y disminución de capacidad de deformación en los especímenes. En este tipo de construcciones se deben utilizar técnicas convenientes que aumenten la densidad y disminuyan los vacíos de este tipo de muros.



Figura 26. Acciones para verificar la verticalidad del molde, esparcir y compactar la mezcla de tierra - agregado.

Fuente: Elaboración propia.

A.4) Preparación del mortero de cemento – arena

El mortero de cemento – arena, que presenta cada capa compactada tiene una proporción de 1:4. Las hiladas de mortero no se encuentran en toda la superficie de contacto entre capa y capa, estas hiladas están ubicadas y a lo largo de cada capa, en la cara expuesta a la intemperie con una pendiente de 1:2 (ver *Figura 27*)

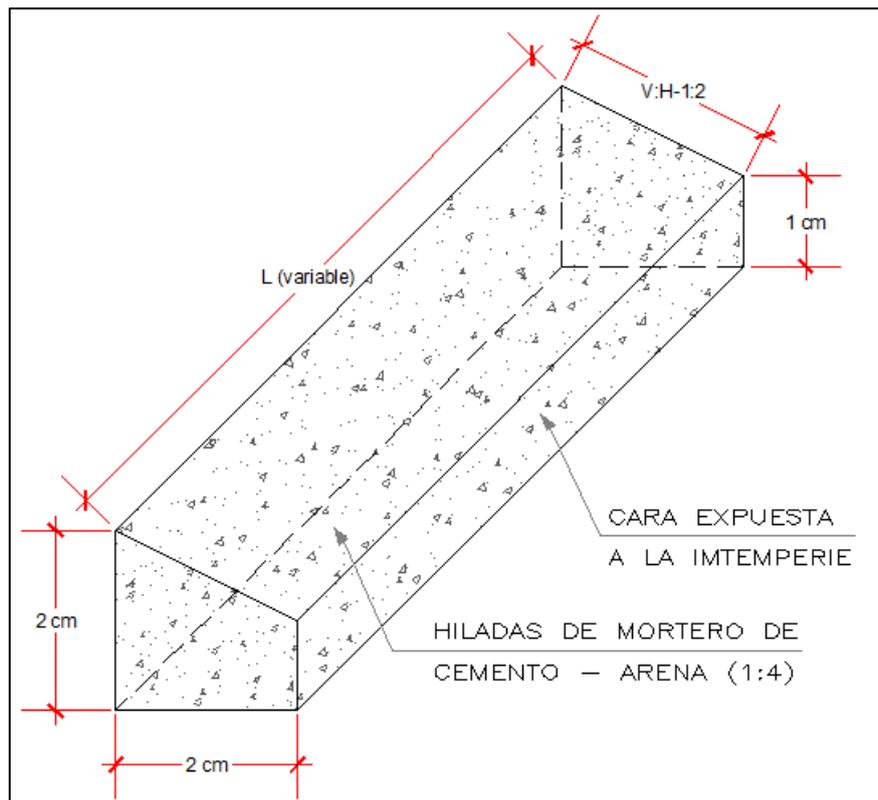


Figura 27. Hiladas de mortero de cemento - arena (1:4).
Fuente: Elaboración propia.



Figura 28. Preparación del mortero y construcción de hiladas en las juntas del tapial.
Fuente: Elaboración propia.

A.5) Secado de los especímenes

Se debe tener bastante cuidado en el secado del tapial, no debe tener cambios bruscos de temperatura, el tapial debe mantenerse húmeda al menos durante los tres días sucesivos, cubriéndolo con material plástico o similar, para que no pierda rápidamente su humedad y evitar el agrietamiento por exposición a los cambios de temperatura.



Figura 29. Proceso de secado de los especímenes.

Fuente: Elaboración propia.

3.3.5.2 Muretes de albañilería – tapial

Se construyó un total de 24 muretes, con dimensiones de 40 x 40 x 15 cm. conformados por 5 capas compactadas a 8 cm de altura con un martillo neumático. Se procuró controlar las dimensiones en todos los muretes. La altura se controló con el escotillón y la verticalidad con nivel y plomada.

Al terminar la construcción de los muretes, previo al ensayo de compresión diagonal, se colocó pequeñas capas de capping en los 2 vértices de una diagonal superior e inferior de cada murete por donde harán contacto con los actuadores de carga, para uniformizar la superficie de contacto y así poder repartir la carga uniformemente, evitando generar concentraciones de esfuerzo.

Se construyeron 12 muretes por las dos variables a estudiar. Los que fueron: tapial con hiladas de mortero de cemento – arena (1:4) en las juntas y tapial típico.

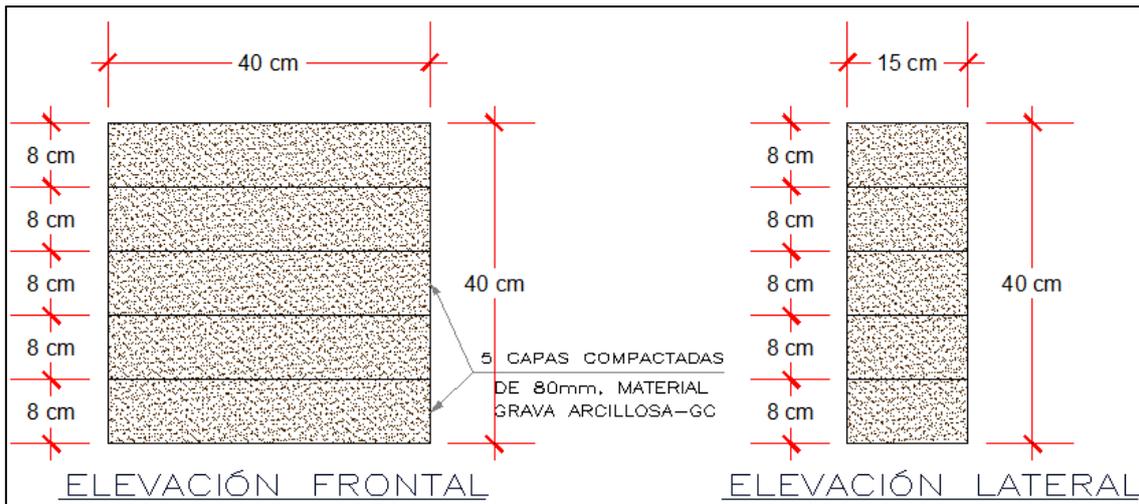


Figura 30. Configuración dimensional del murete de tapial típico.

Fuente: Elaboración propia.

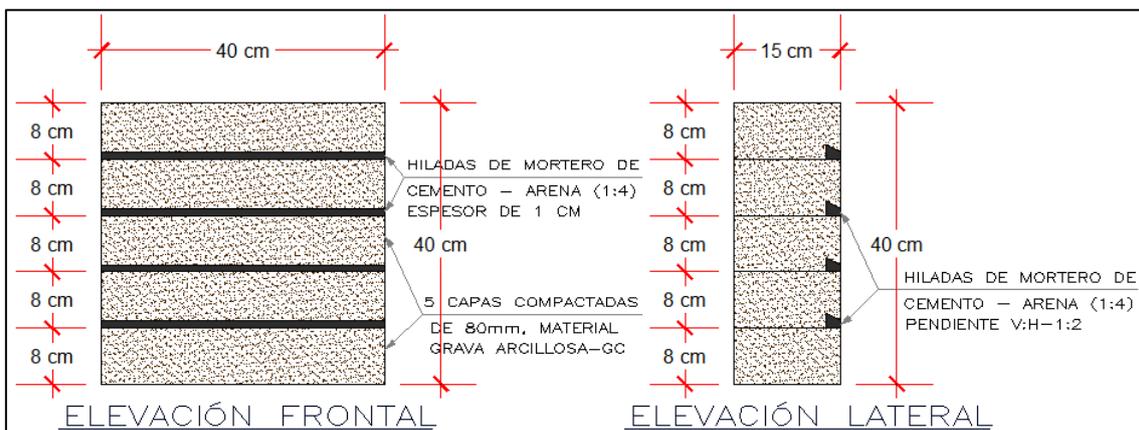


Figura 31. Configuración dimensional del murete de tapial reforzado.

Fuente: Elaboración propia.

Los muretes fueron ensayados a compresión diagonal en la Máquina de compresión diagonal (ver Figura 32) una vez terminado el periodo de secado, el cual fue de 28 días; los resultados promedio aparecen en las Tablas 34 y 35.

La codificación de los muretes de tapial es como se muestra a continuación:

- Muretes típicos = MT
- Muretes reforzados = MR



Figura 32. Máquina de compresión diagonal.

Fuente: Elaboración propia.

A) Procedimiento de construcción

La construcción de muretes de tapial tiene el mismo procedimiento constructivo que las pilas, la única variación se da en los encofrados que tienen dimensiones distintas, tal como se muestra a continuación:

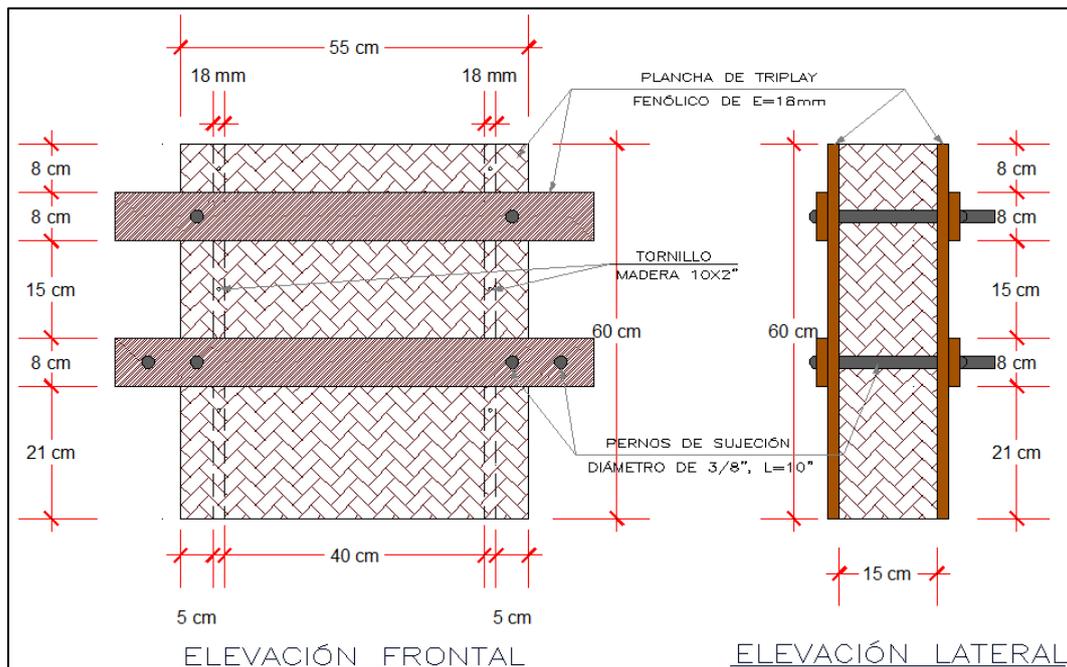


Figura 33. Elevación frontal y lateral del encofrado para la construcción de muretes.

Fuente: Elaboración propia.

3.3.6 Ensayos de laboratorio

3.3.6.1 Pilas de albañilería – tapial

A) Montaje e instrumentación

Para esta prueba se utilizó la Máquina Universal de Ensayos con una capacidad de 600 kN, en la cual se programa la velocidad de ensayo que es de 0.1 mm/min, que al final nos da resultados de la fuerza en Kilogramos y la gráfica carga vs desplazamiento vertical del espécimen ensayado, en una hoja Excel, mediante el Software: Partner.

En la *Figura 34* se muestra la colocación de las pilas en la Máquina Universal de Ensayos para el ensayo de compresión axial.



Figura 34. Instrumentación del ensayo de compresión axial.
Fuente: Elaboración propia.

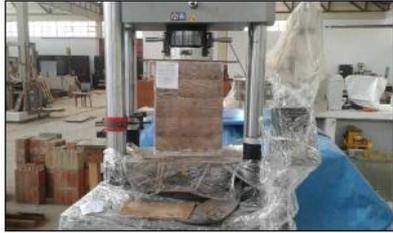
B) Procedimiento de ensayo

Según la NTP 399.605 – 2009 UNIDADES DE ALBAÑILERÍA. Método de ensayo para la determinación de la resistencia en compresión de prismas de albañilería.

Durante el ensayo de compresión axial se siguieron los siguientes pasos:

1. Se Colocó cada pila en una posición centrada,
2. Se colocaron planchas de acero de tal manera que cubran toda la superficie de la pila, para poder repartir la carga uniformemente por toda la superficie
3. Se identificó cada pila antes de ensayarlas, en donde va el número de pila a ensayar, el tipo de pila, y las dimensiones que posee (Base, Altura, Espesor).

4. Se aplicó la carga a la parte superior de la pila, hasta que esta falle, los datos de carga y deformación se registraron automáticamente en una hoja Excel.

ENSAYO DE COMPRESIÓN AXIAL EN PILAS DE TAPIAL		
①	Colocación del espécimen, en una posición centrada.	
②	Colocar planchas metálicas, que cubran toda la superficie de contacto, repartiendo la carga uniformemente en toda la superficie superior del espécimen.	
③	Identificación de las pilas mediante una ficha de descripción del espécimen en el cual va el número de pila a ensayar, el tipo de pila y dimensiones del espécimen.	

C) Cálculo de la resistencia a compresión axial

La resistencia a compresión axial de una pila se obtiene dividiendo la carga máxima entre el área bruta de la sección transversal.

$$f_m = \frac{P_{max}}{A}$$

Donde:

f_m : Resistencia a compresión axial (Kg/cm²)

P_{max} : Carga máxima aplicada que resiste la pila (Kg)

A : Área transversal (cm²)

Una vez ensayadas todas las pilas se obtiene para cada pila la resistencia a compresión axial (f_m) se calcula el promedio y la desviación estándar (σ) de los especímenes ensayados. Siendo la resistencia a compresión característica de las pilas la siguiente:

$$f'_m = f_m - \sigma$$

D) Cálculo del módulo de elasticidad (E_m)

Para calcular el módulo de elasticidad se trabaja con la parte más lineal de la gráfica P-D, eliminándose la porción inicial que es la parte del reacomodo de los instrumentos, este tramo representa el comportamiento elástico y está comprendida entre el 15% y 50% de la carga de rotura. Se divide el incremento del esfuerzo axial sobre la deformación unitaria respectiva.

Los datos con los que se calcula el módulo de elasticidad provienen de la deformación axial de la parte central de las pilas que son captados por los 2 instrumentos LVDT.

Esfuerzo Axial: $\Delta\sigma = \frac{\Delta P}{A}$

Deformación unitaria asociada a la carga (P): $\Delta\varepsilon = \frac{\Delta D}{L}$

Con lo cual el Módulo de Elasticidad: $E_m = \frac{\Delta\sigma}{\Delta\varepsilon}$

Donde:

$\Delta\sigma$ = Esfuerzo axial en el tramo elástico (Kg/cm^2)

ΔP = Variación de fuerza en el tramo elástico (Kg)

A = Área bruta (cm^2)

$\Delta\varepsilon$ = Deformación unitaria

ΔD = Variación de desplazamiento en el tramo elástico (cm)

L = Longitud entre las bases del LVDT (cm)

E_m = Módulo de elasticidad (Kg/cm^2)

3.3.6.2 Muretes de albañilería – tapial

A) Montaje e instrumentación

Los muretes fueron transportados al lugar de ensayo, se usó una gata hidráulica de 20 toneladas de capacidad y 4 diales digitales con la armadura para la colocación de dichos diales.

Se registraron las deformaciones de los 4 diales instalados en el murete. La carga se aplica hasta alcanzar la rotura del murete (ver *Figura 35*)

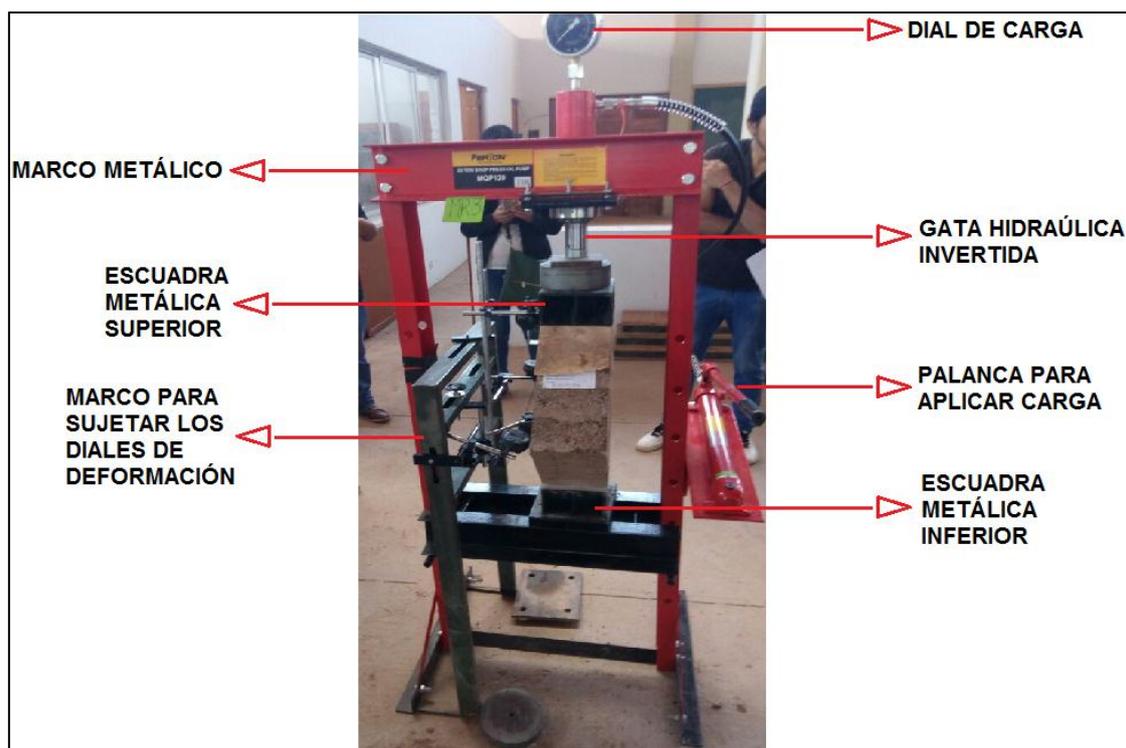


Figura 35. Instrumentación del ensayo de compresión diagonal.

Fuente: Elaboración propia.

B) Procedimiento de ensayo

Según la NTP 399.621 UNIDADES DE ALBAÑILERÍA. Método de ensayo de compresión diagonal en muretes de albañilería.

- Colocación de las escuadras de carga:** Se ubicaron las escuadras de carga superior e inferior de manera que estén centradas en las respectivas superficies de carga de la máquina de ensayo.
- Colocación del espécimen:** Se colocó el espécimen en una posición centrada y a plomo, colocada en la escuadra inferior de carga.
- Instrumentación:** Se colocaron topes metálicos al espécimen para medir el acortamiento de la diagonal vertical y el estiramiento de la diagonal horizontal bajo la acción de la carga. Se acoplan los 4 diales de deformación a la armadura metálica y se colocan de tal manera que coincidan con los topes metálicos.
- Aplicación de la carga:** La carga se aplicó en forma continua y a incrementos adecuados, se registró la deformación en cada intervalo de tiempo establecido, hasta alcanzar el valor máximo de rotura del espécimen.

DESCRIPCIÓN DEL ENSAYO - COMPRESIÓN DIAGONAL		
1	Colocación de topes metálicos: En el murete se marco las diagonales con yeso y cordel para la colocación de los topes metálicos, en cada diagonal se procedió a pegar 2 topes, separados a una distancia de 15 cm respecto del centro del murete	
2	Colocación de escuadras: Se colocó las escuadras metálicas superior e inferior de manera que estén centradas en la base nivelada de la máquina de ensayo	
3	Colocación del espécimen: Se colocó cada murete en una posición centrada y a plomo, en la parte superior se colocó planchas de triplay usadas como capping	
4	Colocación del marco de sujeción de diales: Una vez colocado el espécimen se acomoda el marco en donde se sujetan los diales de deformación, verificando que la aguja del dial este en contacto con el tope metálico	
5	Aplicación de carga: la carga se aplicó en intervalos de tiempo, antes establecidos, registrando la deformación en cada intervalo, hasta alcanzar la rotura o máxima carga del murete	

C) Cálculo del esfuerzo de corte

La resistencia unitaria a corte puro (V_m) se obtiene al dividir la carga de rotura entre el área bruta de la diagonal cargada (D_t). Siendo lo mismo que dividir la carga diagonal proyectada en la dirección paralela a las hiladas entre el área bruta de la hilada para muretes cuadrados. El cálculo se realizara según lo establecido en la Norma E.080 Diseño y Construcción con Tierra Reforzada.

$$V_m = \frac{P_{max}}{2ae_m}$$

Donde:

V_m : Resistencia al corte (Kg/cm^2)

P_{max} : Carga máxima que resiste el murete (Kg)

a : Lado del murete (cm)

e_m : Espesor del murete (cm)

Una vez ensayados todos los especímenes, se calcula el valor promedio (V_m) y la desviación estándar (σ) de los datos ensayados.

D) Cálculo del módulo de corte

Para determinar el módulo de corte de la albañilería (G_m) se necesita instrumentar una cara de los muretes con dos diales digitales que se encargan de medir la deformación de las diagonales. Durante el ensayo, se gráfica carga (P) vs desplazamiento (D). Para calcular “ G_m ”, se trabaja con la parte más lineal de la gráfica P vs D , por lo general esta parte está comprendida entre el 15% y el 50% de la carga de rotura.

Variación de carga: $\Delta P = P(50\%) - P(15\%)$

Esfuerzo cortante: $\Delta V_m = \frac{\Delta P}{2ae_m}$

Variación de desplazamiento: $\Delta D = D(50\%) - D(15\%)$

Deformación unitaria asociada a la variación de carga de los diales:

$$\Delta \varepsilon = \frac{\Delta D}{L}$$

Deformación angular (γ): suma de las deformaciones unitarias registradas por cada dial.

$$\gamma = \varepsilon_V + \varepsilon_H$$

Por lo cual el módulo de corte (G_m), se determina con la siguiente expresión:

$$G_m = \frac{\Delta V_m}{\gamma}$$

Donde:

$P(15\%)$: Fuerza aplicada al 15% de la carga máxima de rotura (Kg)

$P(50\%)$: Fuerza aplicada al 50% de la carga máxima de rotura (Kg)

$D(15\%)$: Desplazamiento para la fuerza aplicada al 15% de la carga máxima de rotura (mm)

$D(50\%)$: Desplazamiento para la fuerza aplicada al 50% de la carga máxima de rotura (mm)

L : Distancia entre los diales (cm)

a : Lado del murete (cm)

e_m : Espesor del murete (cm)

ε_V : Deformación unitaria vertical (mm/mm)

ε_H : Deformación unitaria horizontal (mm/mm)

CAPÍTULO IV

PROCESAMIENTO DE DATOS Y OBTENCIÓN DE RESULTADOS

4 PROCESAMIENTO DE DATOS Y OBTENCIÓN DE RESULTADOS

4.1 PILAS DE ALBAÑILERÍA – TAPIAL

4.1.1 Densidad

El peso unitario o masa específica de un material, es el cociente que resulta de dividir la cantidad de masa (Kg) de dicho material por su volumen unitario (m³). Es así que la densidad que caracteriza al material se mide en kilogramos por metro cúbico (Kg/m³) y se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$\rho = \frac{M}{V}$$

Donde:

ρ : Densidad (Kg/m³)

M: Cantidad de masa (Kg)

V: Volumen unitario (m³)

En las tablas que se muestran a continuación, se registró las dimensiones, y se determinó las densidades de elaboración y al momento del ensayo de los especímenes de tapial típico (ver *Tabla 18*) y tapial reforzado con la adición de hiladas de mortero de cemento – arena en proporción 1:4 (ver *Tabla 19*)

Tabla 18 Densidad de elaboración y densidad de ensayo en el tapial típico

Especímen	Volumen (m ³)	Densidad de Elaboración		Densidad de Ensayo	
		Peso (Kg)	Densidad (Kg/m ³)	Peso (Kg)	Densidad (Kg/m ³)
PT-1	0.0181	37.86	2087.42	35.36	1949.59
PT-2	0.0182	39.76	2186.10	37.06	2037.65
PT-3	0.0183	39.61	2168.56	36.76	2012.53
PT-4	0.0181	38.21	2114.05	35.71	1975.73
PT-5	0.0181	38.01	2105.63	35.51	1967.14
PT-6	0.0180	38.11	2114.64	35.41	1964.83
PT-7	0.0178	38.66	2176.82	35.96	2024.79
PT-8	0.0176	38.41	2184.50	35.81	2036.63
PT-9	0.0183	38.21	2086.27	35.71	1949.85
PT-10	0.0180	38.91	2160.86	36.26	2013.78
PT-11	0.0182	40.21	2206.25	37.56	2060.94
PT-12	0.0184	40.36	2187.56	37.71	2044.01
Densidad de Elaboracion promedio(Kg/m3)		2148.22		2003.12	
Desviación Estandar (Kg/m3)		43.38		39.56	
Coefficiente de Variación		2.02%		1.97%	

Fuente: Elaboración propia

Sobre la totalidad de los datos un análisis estadístico fue ejecutado, encontrando que la densidad promedio de los especímenes de tapial típico en la elaboración y al momento del ensayo fueron de 2148 Kg/m³ y 2003 Kg/m³ respectivamente, y que la dispersión promedio de la totalidad de datos respecto a estos valores fue de 2% tanto en la elaboración y al momento del ensayo, este valor garantiza el nivel de confiabilidad del ensayo ejecutado.

Tabla 19 Densidad de elaboración y densidad de ensayo en el tapial reforzado

Especímen	Volumen (m ³)	Densidad de Elaboración		Densidad de Ensayo	
		Peso (Kg)	Densidad (Kg/m ³)	Peso (Kg)	Densidad (Kg/m ³)
PR-1	0.0182	39.31	2162.96	36.66	2017.23
PR-2	0.0191	42.41	2217.31	39.56	2068.38
PR-3	0.0185	41.96	2269.73	39.06	2112.94
PR-4	0.0182	40.46	2221.83	37.76	2073.65
PR-5	0.0180	40.61	2260.22	37.91	2110.04
PR-6	0.0182	40.41	2221.02	37.81	2078.21
PR-7	0.0184	40.96	2225.28	38.36	2084.11
PR-8	0.0184	40.31	2192.70	37.71	2051.35
PR-9	0.0184	41.21	2245.55	37.91	2065.82
PR-10	0.0186	41.11	2215.69	38.61	2081.03
PR-11	0.0184	40.71	2214.45	38.21	2078.55
PR-12	0.0185	40.81	2211.73	38.46	2084.46
Densidad de Elaboracion promedio(Kg/m3)			2221.54	2075.48	
Desviación Estandar (Kg/m3)			28.40	25.09	
Coefficiente de Variación			1.28%	1.21%	

Fuente: Elaboración propia

Sobre la totalidad de los datos un análisis estadístico fue ejecutado, encontrando que la densidad promedio, en los especímenes de tapial reforzado con hiladas de mortero de cemento – arena con una dosificación en volumen de 1:4, en la elaboración y al momento del ensayo fueron de 2221.5 Kg/m³ y 2075.5 Kg/m³ respectivamente, y que la dispersión promedio de la totalidad de datos respecto a estos valores fue de 1.5% tanto en la elaboración y al momento del ensayo, este valor garantiza el nivel de confiabilidad del ensayo ejecutado.

4.1.2 Contenido de humedad

La humedad o contenido de humedad de un suelo es la relación, expresada como porcentaje, del peso de agua en una masa dada de suelo, al peso de las partículas sólidas. Se calcula el contenido de humedad de la muestra, mediante la siguiente fórmula:

$$w = \frac{\text{Peso de agua}}{\text{Peso de suelo secado al horno}} \times 100$$

Donde w es el contenido de humedad, expresado en porcentaje.

Se determinó las humedades de elaboración y en la rotura de los especímenes de tapial típico (ver *Tablas 20 y 21*) y tapial reforzado con la adición de hiladas de mortero de cemento – arena con una dosificación en volumen de 1:4 (ver *Tablas 22 y 23*)

Tabla 20 Contenido de humedad en la construcción de las pilas típicas

Especímen	Cápsula	Peso de Cápsula (gr)	Humedad Inicial en la Elaboración				Contenido de Agua (gr)	Contenido de Humedad Inicial
			Peso de Cápsula + Suelo Húmedo (gr)	Peso de Cápsula + Suelo Seco (gr)	Peso de Suelo Seco (gr)			
PT-1	H1	62.53	106.58	103.59	41.06	2.99	7.28%	
PT-2	H2	59.86	102.33	99.25	39.39	3.08	7.82%	
PT-3	H3	57.24	113.29	109.16	51.92	4.13	7.95%	
PT-4	H4	56.89	95.86	93.10	36.21	2.76	7.62%	
PT-5	H5	57.91	89.63	87.32	29.41	2.31	7.85%	
PT-6	H6	63.53	106.58	103.51	39.98	3.07	7.68%	
PT-7	H7	60.40	115.65	112.01	51.61	3.64	7.05%	
PT-8	H8	61.95	116.32	112.24	50.29	4.08	8.11%	
PT-9	H9	58.67	96.76	94.17	35.50	2.59	7.30%	
PT-10	H10	63.48	110.61	107.08	43.60	3.53	8.10%	
PT-11	H11	61.15	91.59	89.58	28.43	2.01	7.07%	
PT-12	H12	57.81	100.32	97.37	39.56	2.95	7.46%	
Promedio							7.61%	

Fuente: Elaboración propia

Tabla 21 Contenido de humedad remanente en las pilas típicas

Especímen	Cápsula	Peso de Cápsula (gr)	Humedad Final en la Rotura				Contenido de Agua (gr)	Contenido de Humedad Final
			Peso de Cápsula + Suelo Húmedo (gr)	Peso de Cápsula + Suelo Seco (gr)	Peso de Suelo Seco (gr)			
PT-1	H1	24.12	156.32	154.21	130.09	2.11	1.62%	
PT-2	H2	24.87	166.44	163.52	138.65	2.92	2.11%	
PT-3	H3	24.64	138.95	136.98	112.34	1.97	1.75%	
PT-4	H4	24.78	143.35	141.64	116.86	1.71	1.46%	
PT-5	H5	24.53	155.09	152.76	128.23	2.33	1.82%	
PT-6	H6	24.63	142.32	140.53	115.90	1.79	1.54%	
PT-7	H7	24.52	149.92	147.85	123.33	2.07	1.68%	
PT-8	H8	25.11	134.43	132.30	107.19	2.13	1.99%	
PT-9	H9	24.86	116.42	114.47	89.61	1.95	2.18%	
PT-10	H10	63.48	159.94	158.28	94.80	1.66	1.75%	
PT-11	H11	61.15	166.51	164.60	103.45	1.91	1.85%	
PT-12	H12	57.81	124.70	123.33	65.52	1.37	2.09%	
Promedio							1.82%	

Fuente: Elaboración propia

La humedad óptima obtenida para la muestra de trabajo fue de 10.6%; para una densidad máxima de 2.011 gr/cm³ en la condición de seco. La mezcla de los materiales tuvo una humedad de 2.88% antes de agregar agua, por lo cual el contenido de humedad óptimo se tuvo que corregir por humedad natural de los materiales, siendo el contenido de humedad para la construcción de los especímenes de 7.72%. En la elaboración de las pilas de tapial

típico y reforzado con hiladas de mortero de cemento – arena (1:4) se obtuvieron contenidos de humedad óptimo promedio de 7.61% y 7.69% respectivamente, cercanos al óptimo corregido por humedad natural.

Tabla 22 Contenido de humedad en la construcción de las pilas reforzadas

Espécimen	Cápsula	Peso de Cápsula (gr)	Humedad Inicial en la Elaboración				Contenido de Agua (gr)	Contenido de Humedad Inicial
			Peso de Cápsula + Suelo Húmedo (gr)	Peso de Cápsula + Suelo Seco (gr)	Peso de Suelo Seco (gr)			
PR-1	H13	59.81	109.64	105.93	46.12	3.71	8.04%	
PR-2	H14	61.16	113.16	109.28	48.12	3.88	8.06%	
PR-3	H15	55.93	81.91	80.00	24.07	1.91	7.94%	
PR-4	H16	58.71	112.36	108.54	49.83	3.82	7.67%	
PR-5	H17	60.59	98.56	96.06	35.47	2.50	7.05%	
PR-6	H18	57.83	113.95	110.23	52.40	3.72	7.10%	
PR-7	H19	62.18	104.82	101.88	39.70	2.94	7.41%	
PR-8	H20	55.11	80.55	78.66	23.55	1.89	8.03%	
PR-9	H21	57.53	112.05	107.92	50.39	4.13	8.20%	
PR-10	H22	59.40	94.26	91.81	32.41	2.45	7.56%	
PR-11	H23	58.43	100.35	97.53	39.10	2.82	7.21%	
PR-12	H24	57.69	96.23	93.37	35.68	2.86	8.02%	
Promedio							7.69%	

Fuente: Elaboración propia

Tabla 23 Contenido de humedad remanente en las pilas reforzadas

Espécimen	Cápsula	Peso de Cápsula (gr)	Humedad Final en la Rotura				Contenido de Agua (gr)	Contenido de Humedad Final
			Peso de Cápsula + Suelo Húmedo (gr)	Peso de Cápsula + Suelo Seco (gr)	Peso de Suelo Seco (gr)			
PR-1	H13	59.81	132.59	130.77	70.96	1.82	2.56%	
PR-2	H14	58.70	122.78	120.96	62.26	1.82	2.92%	
PR-3	H15	55.93	120.12	118.76	62.83	1.36	2.16%	
PR-4	H16	58.71	148.50	146.98	88.27	1.52	1.72%	
PR-5	H17	60.59	146.34	143.84	83.25	2.50	3.00%	
PR-6	H18	64.17	152.17	150.13	85.96	2.04	2.37%	
PR-7	H19	59.10	150.45	149.14	90.04	1.31	1.45%	
PR-8	H20	63.27	134.83	133.25	69.98	1.58	2.26%	
PR-9	H21	59.13	163.62	161.70	102.57	1.92	1.87%	
PR-10	H22	59.40	130.43	129.08	69.68	1.35	1.94%	
PR-11	H23	58.43	156.91	155.00	96.57	1.91	1.98%	
PR-12	H24	57.69	132.42	130.09	72.40	2.33	3.22%	
Promedio							2.29%	

Fuente: Elaboración propia

La humedad remanente determinada en las pilas luego de realizar el ensayo de compresión axial, es el agua que no se puede secar, debido a las propiedades intrínsecas del tapial. Estas humedades remanentes varían entre 1.46% a 2.18% en el tapial típico y en las pilas de tapial reforzado con hiladas de mortero de cemento – arena (1:4) varían entre 1.45% a 3.22%.

4.1.3 Proceso de secado

Debido a que no se encuentran referencias que indiquen el tiempo de secado del tapial, se elaboraron curvas de pérdida de peso en función del tiempo de secado de los diferentes especímenes. Inicialmente las cinéticas de secado tienen pendientes negativas, posteriormente, tienen pendientes que se mantienen constantes, previendo que se alcanzado el estado pendular, donde el agua ligada es la mínima, es decir, el agua que no se puede secar, debido a las propiedades intrínsecas del tapial.

El peso de los especímenes se controló durante los primeros 8 días a razón de 1 vez cada 2 días, luego de ese tiempo se hizo un registró del peso de las pilas variando entre 4 a 8 días.

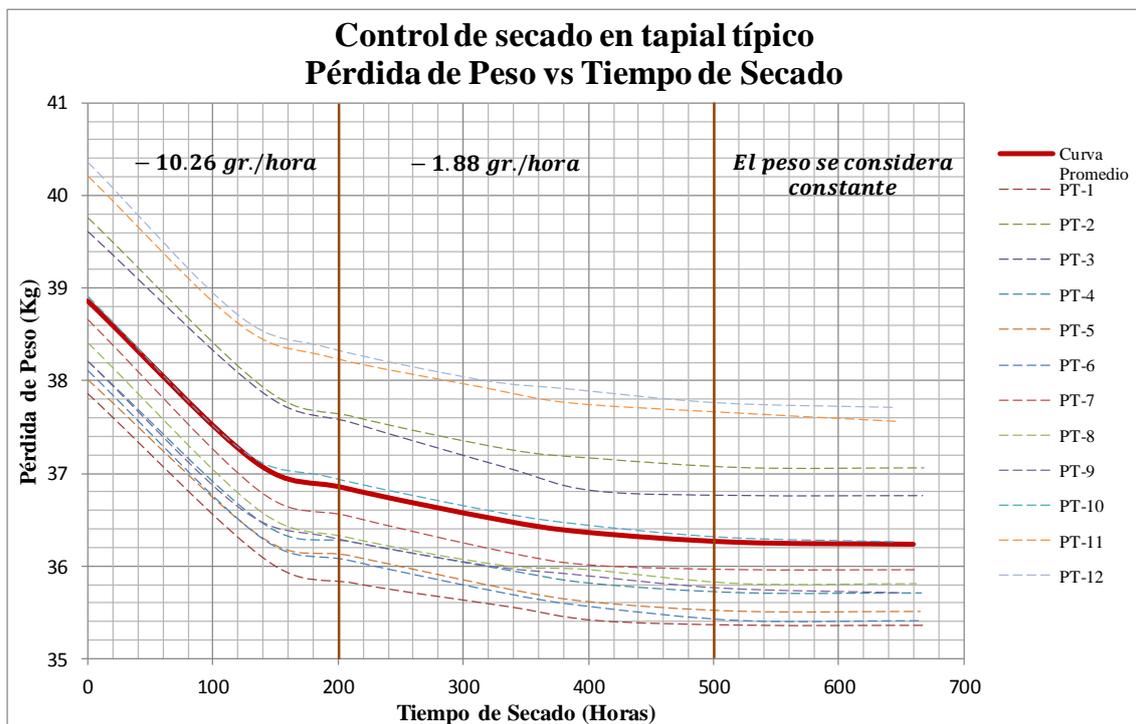


Figura 36. Pérdida de peso en función del tiempo de secado del tapial típico.
Fuente: Elaboración propia.

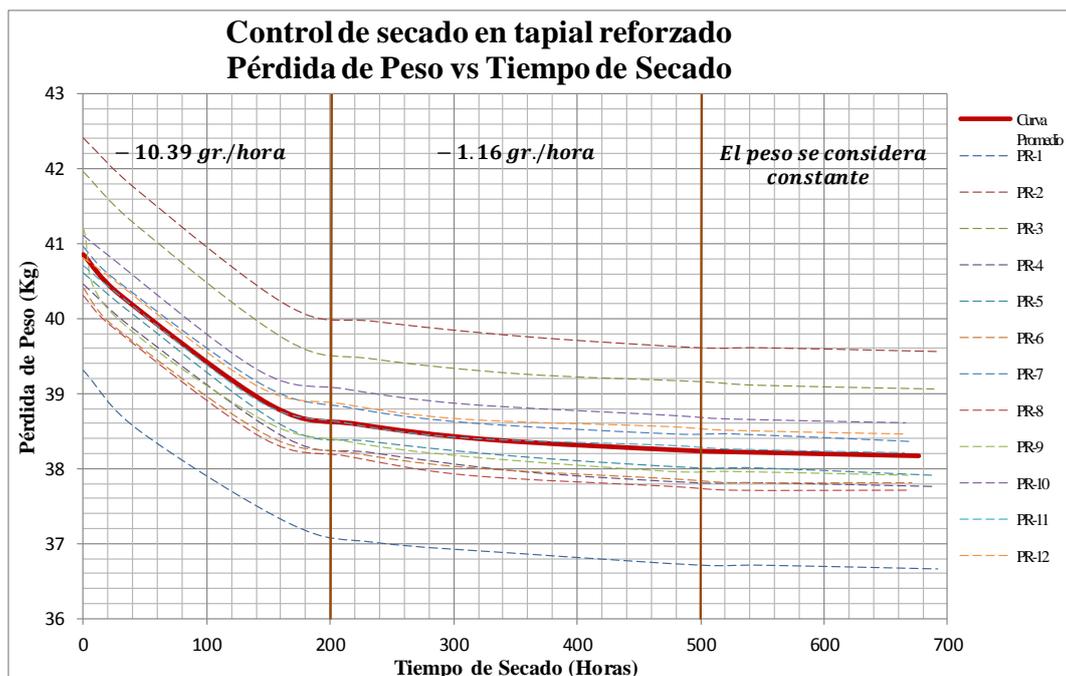


Figura 37. Pérdida de peso en función del tiempo de secado en el tapial reforzado.
 Fuente: Elaboración propia.

Analizando las figuras, se observa que durante la primera etapa del secado comprendido entre 0 a 200 horas aproximadamente es donde ocurre la mayor pérdida de peso de los especímenes de tapial típico y reforzado, en el cual pierden 10.26 gr/hora y 10.39 gr/hora respectivamente, que es el proceso por el cual se elimina el agua libre. Luego hay un segundo periodo aproximadamente entre las 200 a 500 horas en el cual la pérdida de peso es mucho menor a la primera etapa a razón de 1.88 gr/hora en el tapial típico y de 1.16 gr/hora en el tapial reforzado. A partir de las 500 horas los especímenes de tapial típico y reforzado con hiladas de mortero de cemento – arena, habían terminado su tiempo de secado, aproximadamente a los 21 días.

Entre la primera y segunda etapa del proceso de secado existe un cambio significativo de humedad esto ocurre cuando en la primera etapa el agua superficial se evapora rápidamente al irse secando el suelo húmedo y esto hace que la humedad superficial de los tapias sea menor que la interna, tendiendo a un mayor tiempo de secado en la segunda etapa, es decir que el contenido de agua es todavía elevado en relación al equilibrio de humedad.

4.1.4 Resistencia a compresión axial

Las tablas muestran los resultados experimentales, la cuarta columna de cada una de las tablas contiene la resistencia a compresión axial (f_m) de los especímenes ensayados.

Tabla 24 Resultados del ensayo de compresión axial en pilas típicas

Especímen	Edad de ensayo (días)	Dimensiones			Área Promedio (cm ²)	Máxima carga aplicada (Kg)	Resistencia a Compresión Axial- f _m (Kg/cm ²)
		Longitud (cm)	Altura (cm)	Espesor (cm)			
PT-1	36	29.90	40.35	15.03	449.50	2621.00	5.83
PT-2	36	29.95	40.35	15.05	450.75	3047.00	6.76
PT-3	36	29.95	40.43	15.08	451.75	2785.00	6.16
PT-4	36	29.83	40.27	15.05	448.87	2936.00	6.54
PT-5	36	29.83	40.35	15.00	447.38	2809.00	6.28
PT-6	36	29.85	40.25	15.00	447.75	2977.00	6.65
PT-7	36	29.75	39.60	15.08	448.48	2585.00	5.76
PT-8	36	29.70	39.60	14.95	444.02	3018.00	6.80
PT-9	36	30.00	40.70	15.00	450.00	2288.00	5.08
PT-10	42	30.00	39.75	15.10	453.00	2798.00	6.18
PT-11	42	29.95	40.30	15.10	452.25	2835.00	6.27
PT-12	42	29.90	41.00	15.05	450.00	3053.00	6.78
Resistencia a Compresión Axial Promedio f_m (Kg/cm²)							6.26
Desviación Estandar σ (Kg/cm²)							0.51
Coefficiente de Variación							8.16%
Resistencia Característica f'_m (Kg/cm²)							5.75

Fuente: Elaboración propia

La resistencia promedio a compresión axial de las pilas de tapial típico, obtenidas al ensayar especímenes de 30x40x15 cm es de 6.26 Kg/cm², con una desviación estándar de 0.51 Kg/cm² y con un coeficiente de variación del 8.16%.

Tabla 25 Resultados del ensayo de compresión axial en pilas reforzadas

Especímen	Edad de ensayo (días)	Dimensiones			Área Promedio (cm ²)	Máxima carga aplicada (Kg)	Resistencia a Compresión Axial- f _m (Kg/cm ²)
		Longitud (cm)	Altura (cm)	Espesor (cm)			
PR-1	36	29.85	40.50	15.03	448.75	2475.00	5.52
PR-2	36	30.00	41.40	15.40	462.00	3505.00	7.59
PR-3	36	30.00	40.90	15.07	452.00	3543.00	7.84
PR-4	36	29.95	40.40	15.05	450.75	3383.00	7.51
PR-5	36	29.90	40.15	14.97	447.50	3404.00	7.61
PR-6	35	29.85	40.50	15.05	449.24	3349.00	7.45
PR-7	35	30.05	40.70	15.05	452.25	3374.00	7.46
PR-8	35	29.95	40.65	15.10	452.25	3180.00	7.03
PR-9	35	29.95	40.85	15.00	449.25	2717.00	6.05
PR-10	35	29.95	41.30	15.00	449.25	2400.00	5.34
PR-11	35	29.95	40.65	15.10	452.25	3234.00	7.15
PR-12	35	29.95	40.80	15.10	452.25	3199.00	7.07
Resistencia a Compresión Axial Promedio f_m (Kg/cm²)							6.97
Desviación Estandar σ (Kg/cm²)							0.85
Coefficiente de Variación							12.21%
Resistencia Característica f'_m (Kg/cm²)							6.12

Fuente: Elaboración propia

La resistencia promedio a compresión axial de las pilas de tapial reforzado con hiladas de mortero de cemento – arena (1:4), obtenidas al ensayar especímenes de 30x40x15 cm es de

6.97 Kg/cm², con una desviación estándar de 0.85 Kg/cm² y con un coeficiente de variación del 12.21%.

4.1.5 Módulo de elasticidad

Los gráficos de carga – desplazamiento en pilas típicas y reforzadas se muestran a continuación.

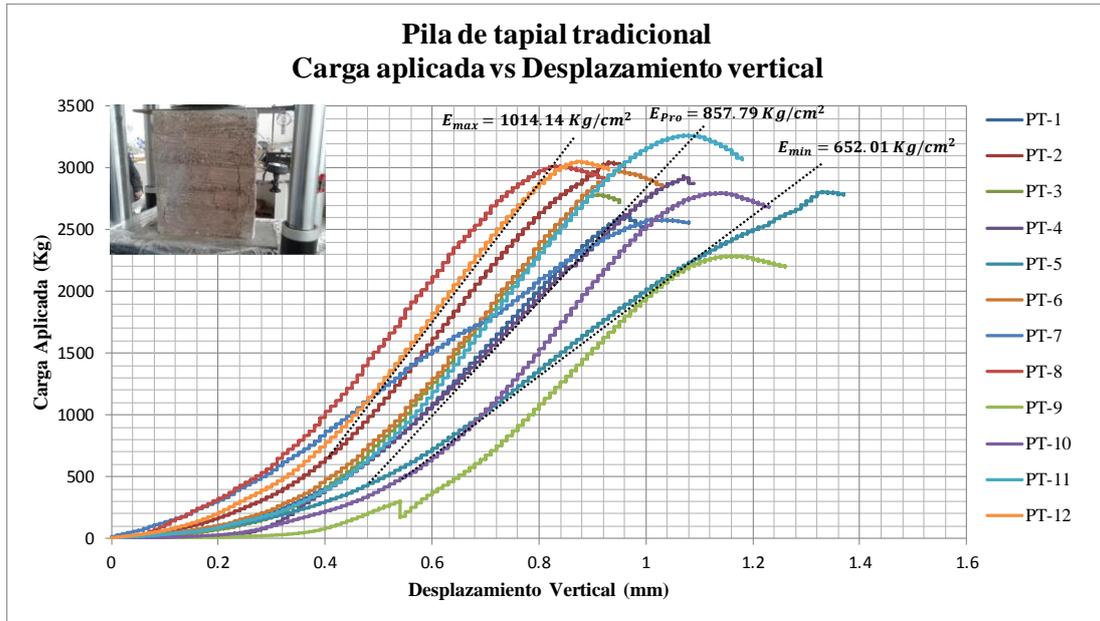


Figura 38. Grafico carga - desplazamiento vertical en pilas típicas.
Fuente: Elaboración propia.

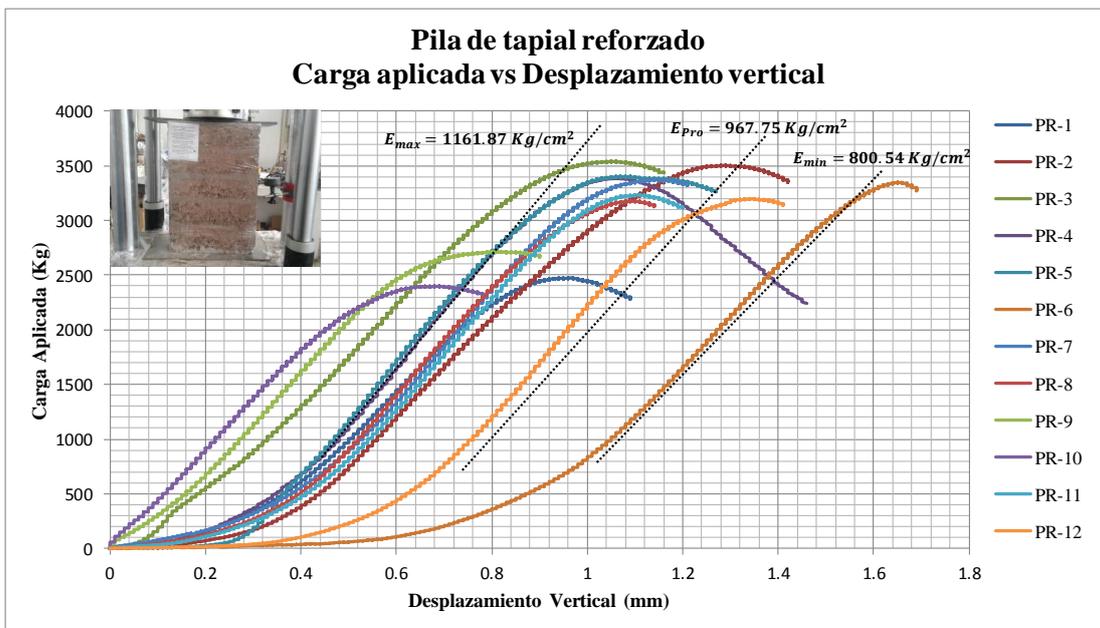


Figura 39. Grafico carga - desplazamiento vertical en pilas reforzadas.
Fuente: Elaboración propia.

Para calcular el módulo de elasticidad se trabaja con la parte más lineal de las gráficas carga – desplazamiento, este tramo representa el comportamiento elástico y está comprendida entre el 15% y 50% de la carga de rotura.

Las tablas muestran los resultados experimentales, la última columna de cada una de las tablas contiene el módulo elástico (E_m) de los especímenes ensayados.

Tabla 26 Módulo de elasticidad del tapial típico

Especímen	Máxima Carga Aplicada P_{max} (Kg)	Área Promedio (mm ²)	$\Delta f'm$ (Kg/mm ²)	Deformación Unitaria				Módulo de Elasticidad E_m (Kg/cm ²)
				Desplazamiento máximo (mm)	ΔD (mm)	Altura Inicial (mm)	ϵ_1 (mm/mm)	
PT-1	2621.00	449.50	2.0408	0.96	0.26	403.50	0.000644	791.81
PT-2	3047.00	450.75	2.3660	0.93	0.25	403.50	0.000620	954.66
PT-3	2785.00	451.75	2.1577	0.90	0.23	404.33	0.000569	948.31
PT-4	2936.00	448.87	2.2893	1.07	0.27	402.67	0.000671	853.55
PT-5	2809.00	447.38	2.1976	1.33	0.34	403.50	0.000843	652.01
PT-6	2977.00	447.75	2.3271	0.95	0.25	402.50	0.000621	936.65
PT-7	2585.00	448.48	2.0174	1.01	0.30	396.00	0.000758	665.73
PT-8	3018.00	444.02	2.3790	0.83	0.25	396.00	0.000631	942.07
PT-9	2288.00	450.00	1.7796	1.17	0.23	407.00	0.000565	787.26
PT-10	2798.00	453.00	2.1618	1.14	0.26	397.50	0.000654	826.27
PT-11	2835.00	452.25	2.1941	0.91	0.24	403.00	0.000596	921.05
PT-12	3053.00	450.00	2.3746	0.88	0.24	410.00	0.000585	1014.14
Promedio Módulo de Elasticidad (Kg/cm²)								857.79
Desviación Estandar σ (Kg/cm²)								116.35
Coefficiente de Variación								13.56%

Fuente: Elaboración propia

El módulo de elasticidad promedio de las pilas de tapial típico obtenidas al ensayar especímenes de 30x40x15 cm es de 857.79 Kg/cm², con una desviación estándar de 116.35 Kg/cm² y con un coeficiente de variación del 13.56%.

Tabla 27 Módulo de elasticidad del tapial reforzado

Especímen	Máxima Carga Aplicada P_{max} (Kg)	Área Promedio (mm ²)	$\Delta f'm$ (Kg/mm ²)	Deformación Unitaria				Módulo de Elasticidad E_m (Kg/cm ²)
				Desplazamiento máximo (mm)	ΔD (mm)	Altura Inicial (mm)	ϵ_1 (mm/mm)	
PR-1	2475.00	448.75	1.9304	0.97	0.24	405.00	0.000593	814.38
PR-2	3505.00	462.00	2.6553	1.29	0.27	414.00	0.000652	1017.87
PR-3	3543.00	452.00	2.7435	1.05	0.32	409.00	0.000782	876.63
PR-4	3383.00	450.75	2.6269	1.06	0.26	404.00	0.000644	1020.43
PR-5	3404.00	447.50	2.6623	1.06	0.23	401.50	0.000573	1161.87
PR-6	3349.00	449.24	2.6092	1.65	0.33	405.00	0.000815	800.54
PR-7	3374.00	452.25	2.6112	1.14	0.29	407.00	0.000713	916.15
PR-8	3180.00	452.25	2.4611	1.09	0.25	406.50	0.000615	1000.42
PR-9	2717.00	449.25	2.1168	0.81	0.22	408.50	0.000539	982.61
PR-10	2400.00	449.25	1.8698	0.68	0.18	413.00	0.000436	1072.53
PR-11	3234.00	452.25	2.5028	1.10	0.26	406.50	0.000640	978.28
PR-12	3199.00	452.25	2.4758	1.34	0.26	408.00	0.000637	971.26
Promedio Módulo de Elasticidad (Kg/cm²)								967.75
Desviación Estandar σ (Kg/cm²)								103.49
Coefficiente de Variación								10.69%

Fuente: Elaboración propia

El módulo de elasticidad promedio de las pilas de tapial reforzado con hiladas de mortero de cemento – arena (1:4), obtenidas al ensayar especímenes de 30x40x15 cm es de 967.75 Kg/cm², con una desviación estándar de 103.49 Kg/cm² y con un coeficiente de variación del 10.69%.

4.1.6 Formas de fallas en pilas

La falla ideal de las pilas de albañilería es una grieta vertical en la cara de menor dimensión cortando a las unidades y el mortero, producida por tracción debido a la expansión lateral (efecto Poisson) causada por la compresión aplicada.

Respecto al desempeño de las pilas de tapial, en las figuras se muestra las formas de falla de los dos tipos de pilas ensayadas a compresión axial. Las pilas presentaron un comportamiento dúctil caracterizado por agrietamientos y fisuras presentadas en el sentido vertical, se evidencio desprendimiento de partículas.



Figura 40. La pila (PT-5) presenta una falla dúctil.

Fuente: Elaboración propia.



Figura 41. La pila (PR-3) presenta una falla dúctil con desprendimiento de partículas.
Fuente: Elaboración propia.

4.2 MURETES DE ALBAÑILERÍA – TAPIAL

4.2.1 Densidad

El peso unitario o masa específica de un material, es el cociente que resulta de dividir la cantidad de masa (Kg) de dicho material por su volumen unitario (m³). Es así que la densidad que caracteriza al material se mide en kilogramos por metro cúbico (Kg/m³) y se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$\rho = \frac{M}{V}$$

Donde:

ρ : Densidad (Kg/m³)

M: Cantidad de masa (Kg)

V: Volumen unitario (m³)

En las tablas que se muestran a continuación, se registró las dimensiones, y se determinó las densidades de elaboración y al momento del ensayo de los especímenes de tapial típico (ver *Tabla 28*) y tapial reforzado con la adición de hiladas de mortero de cemento – arena en proporción 1:4 (ver *Tabla 29*)

Tabla 28 Densidad de elaboración y densidad de ensayo en los muretes típicos

Especímen	Volumen (m ³)	Densidad de Elaboración		Densidad de Ensayo	
		Peso (Kg)	Densidad (Kg/m ³)	Peso (Kg)	Densidad (Kg/m ³)
MT-1	0.0240	52.62	2189.31	48.72	2026.97
MT-2	0.0241	54.47	2256.92	50.22	2080.75
MT-3	0.0237	53.72	2266.53	49.17	2074.48
MT-4	0.0239	53.67	2249.23	49.17	2060.57
MT-5	0.0238	53.87	2264.26	49.27	2070.84
MT-6	0.0245	53.22	2172.86	48.72	1989.13
MT-7	0.0244	54.52	2236.25	50.62	2076.21
MT-8	0.0242	54.27	2244.59	49.87	2062.54
MT-9	0.0241	53.67	2222.83	49.12	2034.31
MT-10	0.0239	53.32	2234.34	48.67	2039.41
MT-11	0.0241	54.07	2246.85	49.32	2049.39
MT-12	0.0242	53.57	2215.19	49.32	2039.38
Densidad de Elaboracion promedio(Kg/m³)			2233.26	2050.33	
Desviación Estandar (Kg/m³)			28.95	26.36	
Coefficiente de Variación			1.30%	1.29%	

Fuente: Elaboración propia

Sobre la totalidad de los datos un análisis estadístico fue ejecutado, encontrando que la densidad promedio de los especímenes de tapial típico en la elaboración y al momento del ensayo fueron de 2233 Kg/m³ y 2050 Kg/m³ respectivamente, y que la dispersión promedio de la totalidad de datos respecto a estos valores fue de 2% tanto en la elaboración y al momento del ensayo, este valor garantiza el nivel de confiabilidad del ensayo ejecutado.

Tabla 29 Densidad de elaboración y densidad de ensayo en muretes reforzados

Especímen	Volumen (m ³)	Densidad de Elaboración		Densidad de Ensayo	
		Peso (Kg)	Densidad (Kg/m ³)	Peso (Kg)	Densidad (Kg/m ³)
MR-1	0.0244	53.87	2209.13	50.67	2077.83
MR-2	0.0241	53.37	2216.21	49.97	2074.95
MR-3	0.0238	54.67	2295.77	50.32	2113.03
MR-4	0.0239	53.22	2222.73	49.72	2076.48
MR-5	0.0239	52.67	2200.22	49.42	2064.39
MR-6	0.0243	53.02	2182.03	49.62	2042.04
MR-7	0.0245	53.67	2191.94	50.22	2050.97
MR-8	0.0237	52.07	2193.33	48.72	2052.15
MR-9	0.0247	54.82	2217.16	50.17	2029.02
MR-10	0.0246	53.47	2174.26	49.77	2023.74
MR-11	0.0247	54.17	2195.58	50.17	2033.38
MR-12	0.0250	54.22	2165.22	50.42	2013.40
Densidad de Elaboracion promedio(Kg/m3)			2205.30	2054.28	
Desviación Estandar (Kg/m3)			33.46	28.40	
Coefficiente de Variación			1.52%	1.38%	

Fuente: Elaboración propia

Sobre la totalidad de los datos un análisis estadístico fue ejecutado, encontrando que la densidad promedio, en los especímenes de tapial reforzado con hiladas de mortero de cemento – arena con una dosificación en volumen de 1:4, en la elaboración y al momento del ensayo fueron de 2205 Kg/m³ y 2054 Kg/m³ respectivamente, y que la dispersión promedio de la totalidad de datos respecto a estos valores fue de 1.5% tanto en la elaboración y al momento del ensayo, este valor garantiza el nivel de confiabilidad del ensayo ejecutado.

4.2.2 Contenido de humedad

La humedad o contenido de humedad de un suelo es la relación, expresada como porcentaje, del peso de agua en una masa dada de suelo, al peso de las partículas sólidas. Se calcula el contenido de humedad de la muestra, mediante la siguiente formula:

$$w = \frac{\text{Peso de agua}}{\text{Peso de suelo secado al horno}} \times 100$$

Donde *w* es el contenido de humedad, expresado en porcentaje.

Se determinó las humedades de elaboración y en la rotura de los especímenes de tapial típico (ver *Tablas 30 y 31*) y tapial reforzado con la adición de hiladas de mortero de cemento – arena con una dosificación en volumen de 1:4 (ver *Tablas 32 y 33*).

Tabla 30 Contenido de humedad en la construcción de muretes típicos

Espécimen	Cápsula	Peso de Cápsula (gr)	Humedad Inicial en la Elaboración				Contenido de Agua (gr)	Contenido de Humedad Inicial
			Peso de Cápsula + Suelo Húmedo (gr)	Peso de Cápsula + Suelo Seco (gr)	Peso de Suelo Seco (gr)			
MT-1	A1	59.05	84.67	82.82	23.77	1.85	7.78%	
MT-2	A2	58.52	95.37	92.69	34.17	2.68	7.84%	
MT-3	A3	59.28	75.61	74.4	15.12	1.21	8.00%	
MT-4	A4	61.16	102.34	99.67	38.51	2.67	6.93%	
MT-5	A5	58.21	89.5	87.23	29.02	2.27	7.82%	
MT-6	A6	60.59	98.99	96.31	35.72	2.68	7.50%	
MT-7	A7	57.63	92.58	89.95	32.32	2.63	8.14%	
MT-8	A8	60.93	97.64	94.73	33.80	2.91	8.61%	
MT-9	A9	58.64	85.39	83.40	24.76	1.99	8.04%	
MT-10	A10	58.42	90.61	88.29	29.87	2.32	7.77%	
MT-11	A11	60.96	91.52	89.45	28.49	2.07	7.27%	
MT-12	A12	61.12	101.3	98.34	37.22	2.96	7.95%	
Promedio							7.80%	

Fuente: Elaboración propia

Tabla 31 Contenido de humedad en la construcción de muretes reforzados

Espécimen	Cápsula	Peso de Cápsula (gr)	Humedad Inicial en la Elaboración				Contenido de Agua (gr)	Contenido de Humedad Inicial
			Peso de Cápsula + Suelo Húmedo (gr)	Peso de Cápsula + Suelo Seco (gr)	Peso de Suelo Seco (gr)			
MR-1	A13	63.21	105.94	102.74	39.53	3.20	8.10%	
MR-2	A14	59.41	95.86	93.15	33.74	2.71	8.03%	
MR-3	A15	59.49	86.79	84.80	25.31	1.99	7.86%	
MR-4	A16	61.66	88.31	86.29	24.63	2.02	8.20%	
MR-5	A17	63.18	102.42	99.61	36.43	2.81	7.71%	
MR-6	A18	59.04	178.14	169.34	110.30	8.80	7.98%	
MR-7	A19	58.84	102.34	99.15	40.31	3.19	7.91%	
MR-8	A20	58.37	89.26	87.13	28.76	2.13	7.41%	
MR-9	A21	59.29	101.20	98.22	38.93	2.98	7.65%	
MR-10	A22	58.41	91.58	89.07	30.66	2.51	8.19%	
MR-11	A23	63.98	97.65	95.26	31.28	2.39	7.64%	
MR-12	A24	61.58	103.69	100.54	38.96	3.15	8.09%	
Promedio							7.90%	

Fuente: Elaboración propia

La humedad óptima obtenida para la muestra de trabajo fue de 10.6%; para una densidad máxima de 2.011 gr/cm³ en la condición de seco. La mezcla de los materiales tuvo una humedad de 2.88% antes de agregar agua, por lo cual el contenido de humedad óptimo se tuvo que corregir por humedad natural de los materiales, siendo el contenido de humedad para la construcción de las pilas de 7.72%. En la elaboración de las pilas de tapial típico y reforzado con hiladas de mortero de cemento – arena (1:4) se obtuvieron contenidos de humedad óptimo promedio de 7.80% y 7.90% respectivamente, cercanos al óptimo corregido por humedad natural.

Tabla 32 Contenido de humedad remanente en muretes típicos

Espécimen	Cápsula	Peso de Cápsula (gr)	Humedad Final en la Rotura				
			Peso de Cápsula + Suelo Húmedo (gr)	Peso de Cápsula + Suelo Seco (gr)	Peso de Suelo Seco (gr)	Contenido de Agua (gr)	Contenido de Humedad Final
MT-1	A1	59.05	171.91	170.22	111.17	1.69	1.52%
MT-2	A2	58.52	200.96	198.91	140.39	2.05	1.46%
MT-3	A3	59.28	195.63	193.57	134.29	2.06	1.53%
MT-4	A4	61.16	172.71	170.53	109.37	2.18	1.99%
MT-5	A5	58.21	167.58	165.31	107.10	2.27	2.12%
MT-6	A6	60.59	172.34	171.05	110.46	1.29	1.17%
MT-7	A7	57.63	159.82	157.79	100.16	2.03	2.03%
MT-8	A8	60.93	171.84	169.61	108.68	2.23	2.05%
MT-9	A9	58.64	169.33	167.05	108.41	2.28	2.10%
MT-10	A10	58.42	166.58	163.77	105.35	2.81	2.67%
MT-11	A11	60.96	152.12	150.60	89.64	1.52	1.70%
MT-12	A12	61.12	156.94	154.83	93.71	2.11	2.25%
Promedio							1.88%

Fuente: Elaboración propia

Tabla 33 Contenido de humedad remanente en muretes reforzados

Espécimen	Cápsula	Peso de Cápsula (gr)	Humedad Final en la Rotura				
			Peso de Cápsula + Suelo Húmedo (gr)	Peso de Cápsula + Suelo Seco (gr)	Peso de Suelo Seco (gr)	Contenido de Agua (gr)	Contenido de Humedad Final
MR-1	A13	63.21	152.90	151.13	87.92	1.77	2.01%
MR-2	A14	59.41	160.28	158.15	98.74	2.13	2.16%
MR-3	A15	59.49	169.32	167.03	107.54	2.29	2.13%
MR-4	A16	61.66	149.63	148.33	86.67	1.30	1.50%
MR-5	A17	63.18	156.07	154.37	91.19	1.70	1.86%
MR-6	A18	58.50	169.26	167.12	108.62	2.14	1.97%
MR-7	A19	61.97	151.89	149.66	87.69	2.23	2.54%
MR-8	A20	62.04	191.14	188.85	126.81	2.29	1.81%
MR-9	A21	64.06	172.50	169.91	105.85	2.59	2.45%
MR-10	A22	58.41	142.55	140.38	81.97	2.17	2.65%
MR-11	A23	63.98	184.03	181.60	117.62	2.43	2.07%
MR-12	A24	61.58	158.76	156.69	95.11	2.07	2.18%
Promedio							2.11%

Fuente: Elaboración propia

La humedad remanente determinada en las pilas luego de realizar el ensayo de compresión diagonal, es el agua que no se puede secar, debido a las propiedades intrínsecas del tapial. Estas humedades remanentes varían entre 1.17% a 2.67% en el tapial típico y en las pilas de tapial reforzado con hiladas de mortero de cemento – arena (1:4) varían entre 1.50% a 2.65%.

4.2.3 Proceso de secado

Al igual que en las pilas de tapial, se elaboraron curvas de pérdida de peso en función del tiempo de secado de los diferentes especímenes.

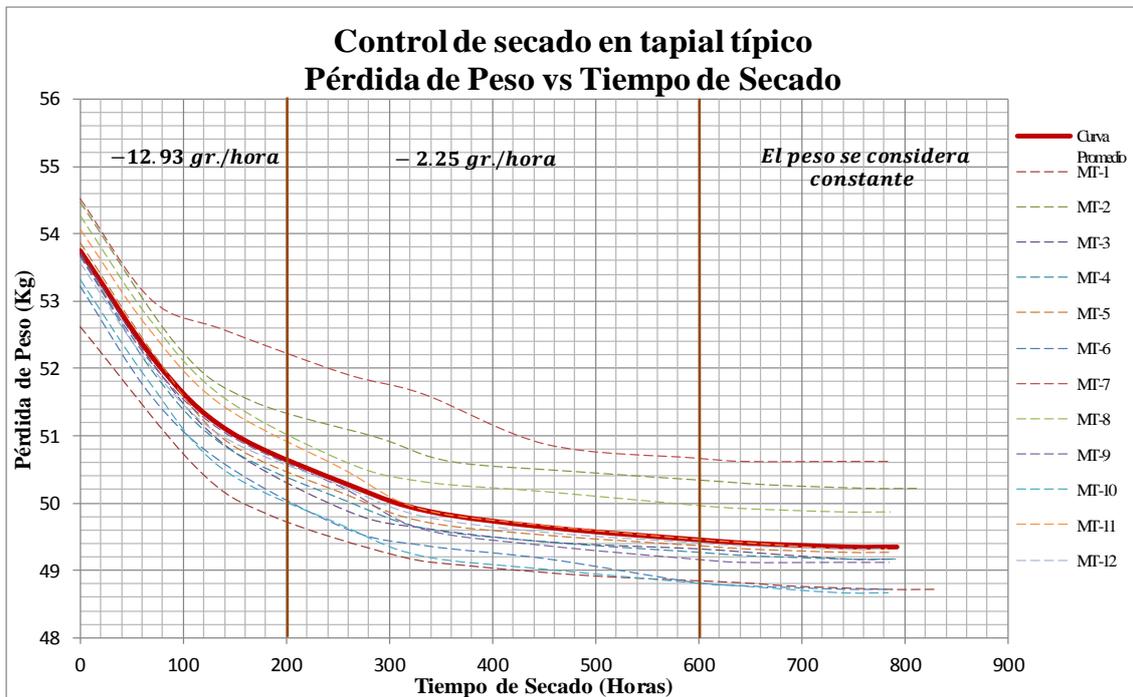


Figura 42. Pérdida de peso en función del tiempo de secado en el tapial típico.
 Fuente: Elaboración propia.

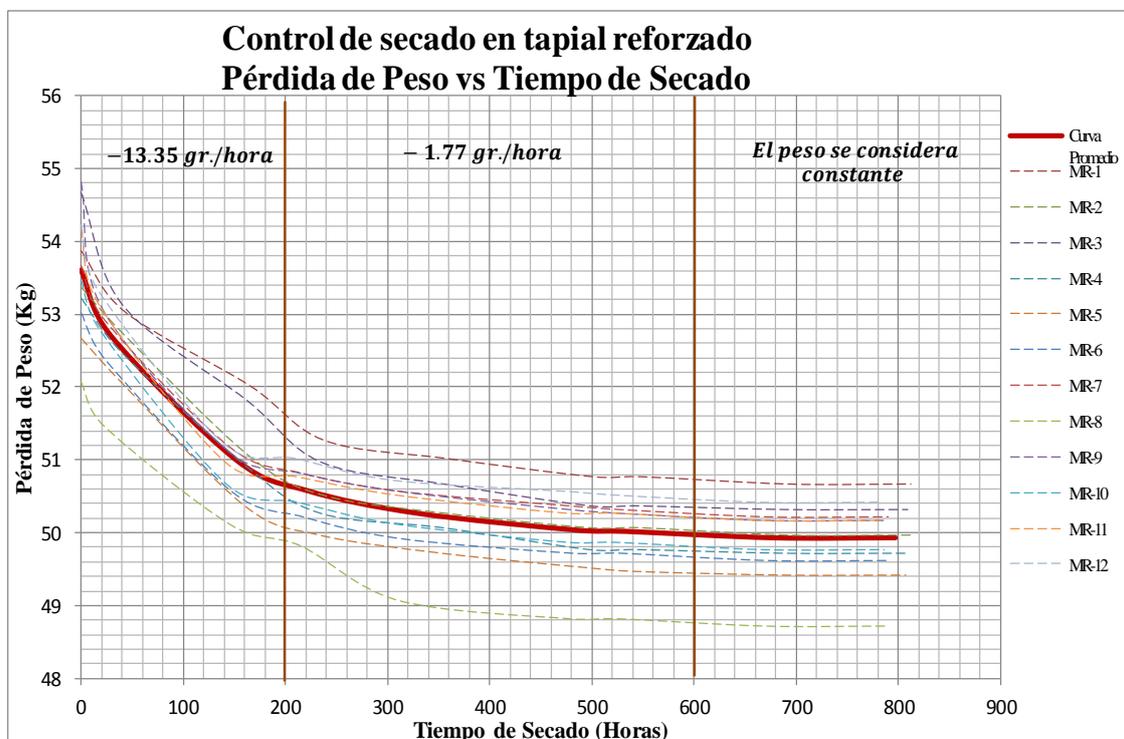


Figura 43. Pérdida de peso en función del tiempo de secado en el tapial reforzado.
 Fuente: Elaboración propia.

Analizando las figuras, se observa que durante la primera etapa del secado comprendido entre 0 a 200 horas aproximadamente es donde ocurre la mayor pérdida de peso de los especímenes de tapial típico y reforzado, en el cual pierden 12.93 gr/hora y 13.35 gr/hora respectivamente, que es el proceso por el cual se elimina el agua libre. Luego hay un segundo periodo aproximadamente entre las 200 a 600 horas en el cual la pérdida de peso es mucho menor a la primera etapa a razón de 2.25 gr/hora en el tapial típico y de 1.77 gr/hora en el tapial reforzado. A partir de las 600 horas los especímenes de tapial típico y reforzado con hiladas de mortero de cemento – arena, habían terminado su tiempo de secado, aproximadamente a los 24 días.

El espécimen MT-7 tuvo una mayor exposición de área de secado, esto produjo que el murete seque más rápido que los demás especímenes. El murete MR-8 tiene un peso inferior en comparación con los demás muretes haciendo que la curva de secado este apartado de las demás curvas de secado.

4.2.4 Esfuerzo de corte

Las tablas muestran los resultados experimentales, la cuarta columna de cada una de las tablas contiene la resistencia al esfuerzo cortante (V_m) de los especímenes ensayados.

Tabla 34 Resultados del ensayo de compresión diagonal en muretes típicos

Especímen	Edad de ensayo (días)	Dimensiones			Área Promedio (cm ²)	Máxima carga aplicada (Kg)	Esfuerzo de corte V_m (Kg/cm ²)
		Longitud (cm)	Altura (cm)	Espesor (cm)			
MT-1	35	39.95	39.07	15.40	1216.86	800.00	0.66
MT-2	34	40.00	39.35	15.33	1216.70	1200.00	0.99
MT-3	33	39.50	39.65	15.13	1197.80	800.00	0.67
MT-4	33	39.77	39.65	15.13	1201.84	1000.00	0.83
MT-5	33	39.60	39.70	15.13	1200.07	800.00	0.67
MT-6	33	40.15	40.40	15.10	1216.31	1000.00	0.82
MT-7	33	39.95	39.80	15.33	1222.83	1200.00	0.98
MT-8	33	39.77	40.00	15.20	1212.45	1000.00	0.82
MT-9	33	39.70	40.10	15.17	1210.30	800.00	0.66
MT-10	33	39.73	39.60	15.17	1203.22	1000.00	0.83
MT-11	33	39.87	39.80	15.17	1208.28	1000.00	0.83
MT-12	33	39.80	39.80	15.27	1215.23	1200.00	0.99
Esfuerzo Cortante Promedio V_m (Kg/cm²)							0.81
Desviación Estandar σ (Kg/cm²)							0.13
Coefficiente de Variación							15.74%
Esfuerzo Cortante Característica V'_m (Kg/cm²)							0.68

Fuente: Elaboración propia

La resistencia promedio a esfuerzo cortante en los muretes de tapial típico, obtenidas al ensayar especímenes de 40x40x15 cm, es de 0.81 Kg/cm², con una desviación estándar de 0.13 Kg/cm² y con un coeficiente de variación del 15.74%.

Tabla 35 Resultados del ensayo de compresión diagonal en muretes reforzados

Especímen	Edad de ensayo (días)	Dimensiones			Área Promedio (cm ²)	Máxima carga aplicada (Kg)	Esfuerzo de corte V _m (Kg/cm ²)
		Longitud (cm)	Altura (cm)	Espesor (cm)			
MR-1	35	39.73	40.20	15.27	1220.32	2100.00	1.72
MR-2	35	39.83	39.60	15.27	1212.68	1600.00	1.32
MR-3	35	39.80	39.45	15.17	1201.96	2000.00	1.66
MR-4	35	39.90	39.35	15.25	1208.56	1800.00	1.49
MR-5	35	39.73	39.55	15.23	1207.75	1900.00	1.57
MR-6	34	39.93	39.90	15.25	1217.46	1600.00	1.31
MR-7	34	40.03	40.15	15.23	1221.46	1800.00	1.47
MR-8	34	39.63	39.15	15.30	1205.39	1600.00	1.33
MR-9	34	40.15	40.25	15.30	1230.12	1800.00	1.46
MR-10	34	40.03	40.15	15.30	1226.81	1600.00	1.30
MR-11	34	39.93	40.25	15.35	1230.81	1600.00	1.30
MR-12	34	40.03	40.75	15.35	1240.02	1600.00	1.29
Esfuerzo Cortante Promedio V_m (Kg/cm²)							1.44
Desviación Estandar σ (Kg/cm²)							0.15
Coefficiente de Variación							10.58%
Esfuerzo Cortante Característica V'_m (Kg/cm²)							1.28

Fuente: Elaboración propia

La resistencia promedio a esfuerzo cortante en los muretes de tapial reforzado con hiladas de mortero de cemento – arena (1:4), obtenidas al ensayar especímenes de 40x40x15 cm, es de 1.44 Kg/cm², con una desviación estándar de 0.15 Kg/cm² y con un coeficiente de variación del 10.58%.

4.2.5 Módulo de corte

A continuación se muestran los gráficos Tiempo vs Desplazamiento vertical y horizontal de los 2 tipos de muretes ensayados, en la máquina de compresión diagonal, con el respectivo registro del tiempo y las deformaciones en las dos direcciones del murete.

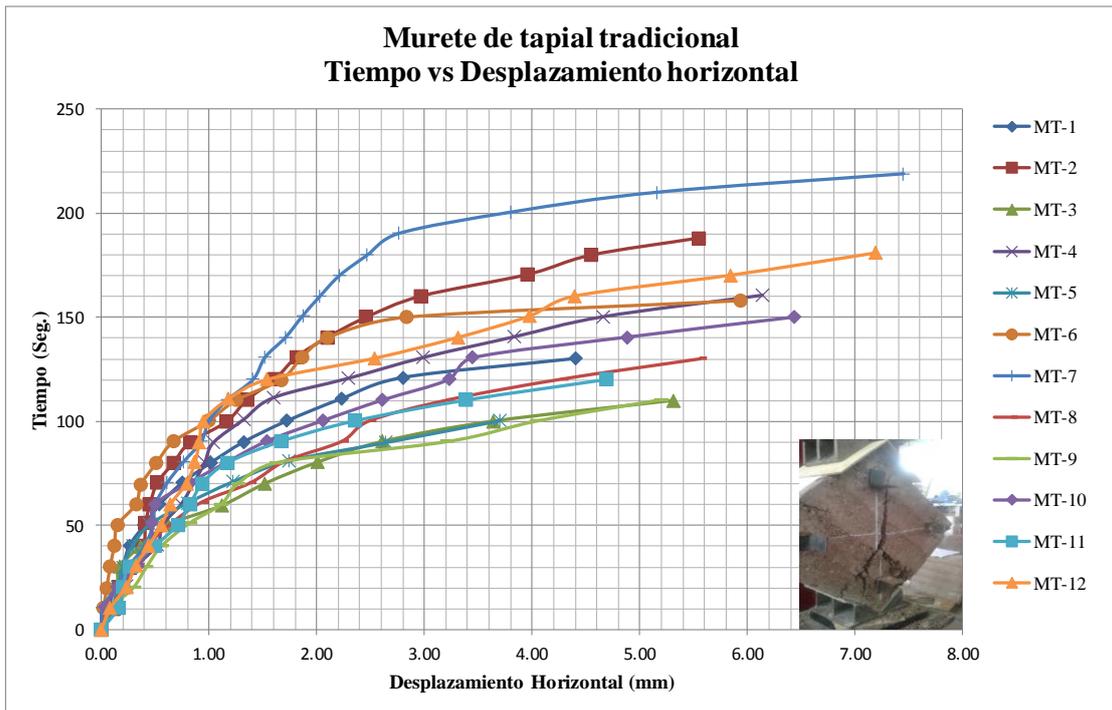
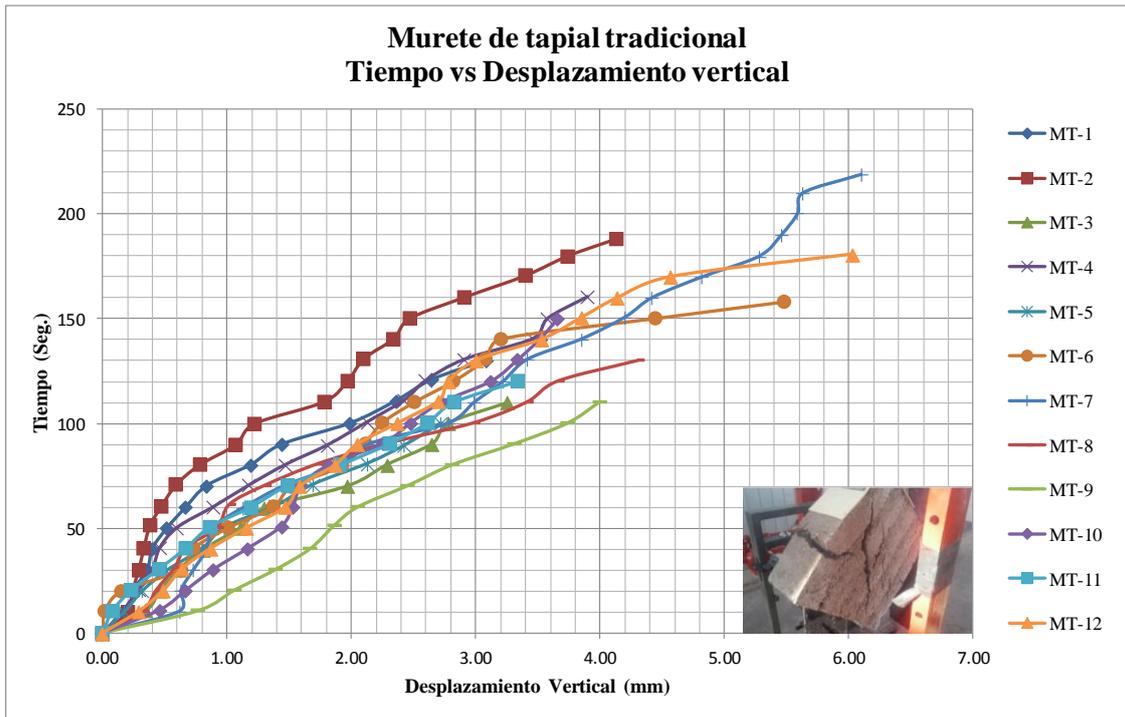


Figura 44. Grafico tiempo vs desplazamiento de los muretes típicos.
Fuente: Elaboración propia.

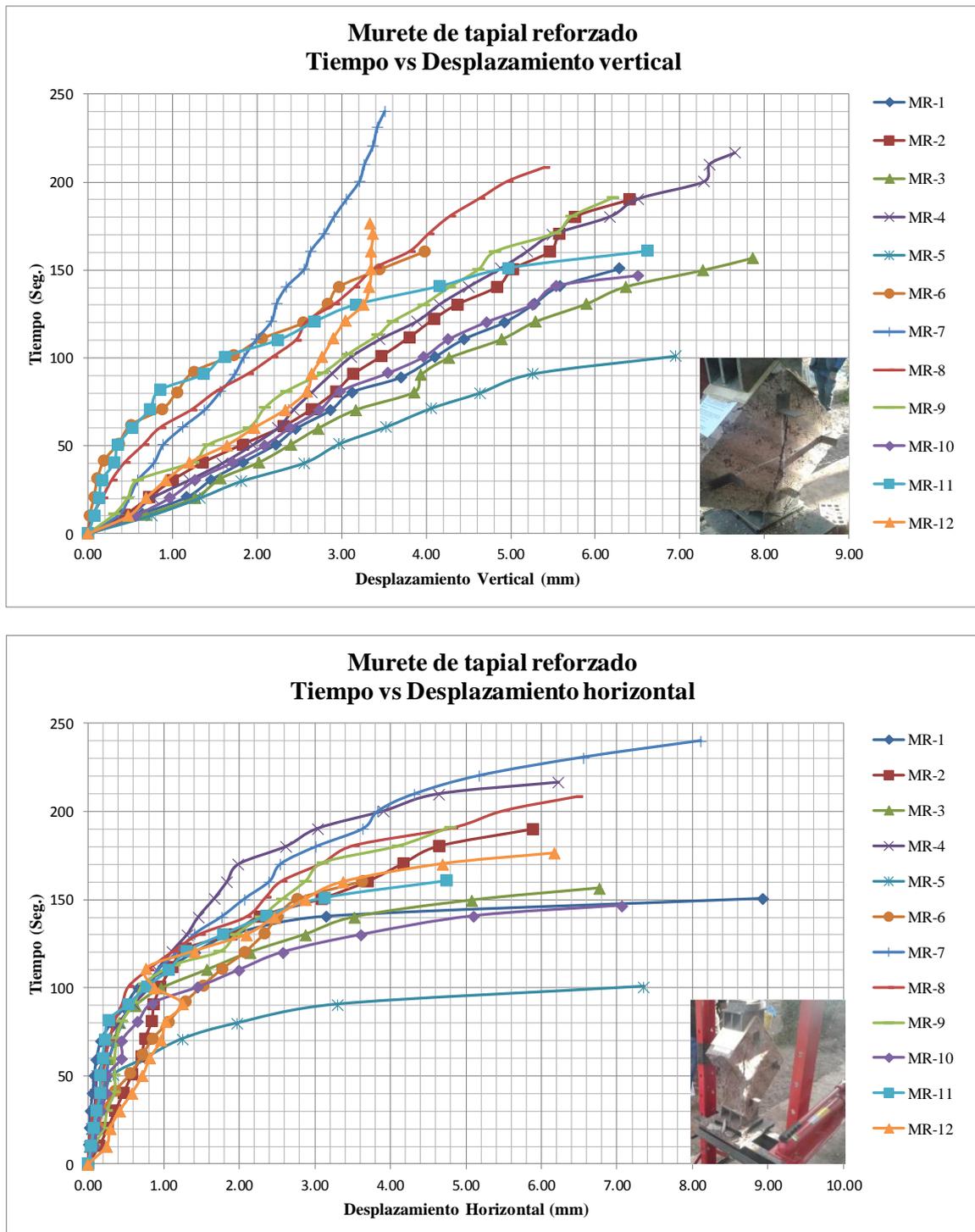


Figura 45. Grafico tiempo vs desplazamiento de los muretes reforzados.
Fuente: Elaboración propia.

Mediante las tablas que se muestran, se realizan los cálculos con los datos obtenidos en los respectivos ensayos, la última columna de cada una de las tablas contiene el módulo de corte (G_m) de los especímenes ensayados.

Tabla 36 Módulo de corte del tapial típico

Especímen	Máxima carga aplicada (Kg)	ΔV_m (Kg/mm ²)	Deformación Unitaria - Vertical			Deformación Unitaria - Horizontal			Deformación Angular (°)	Módulo de Corte G (Kg/cm ²)
			ΔD (mm)	Longitud entre Diales (mm)	ξ_1 (mm/mm)	ΔD (mm)	Longitud entre Diales (mm)	ξ_2 (mm/mm)		
MT-1	800.00	0.0023	0.59	300.00	0.001967	0.62	300.00	0.002067	0.0040333	57.05
MT-2	1200.00	0.0035	0.93	300.00	0.003100	0.90	300.00	0.003000	0.0061000	56.59
MT-3	800.00	0.0023	0.65	300.00	0.002167	0.47	300.00	0.001567	0.0037333	62.61
MT-4	1000.00	0.0029	1.18	300.00	0.003933	0.73	300.00	0.002433	0.0063667	45.74
MT-5	800.00	0.0023	0.66	300.00	0.002200	0.30	300.00	0.001000	0.0032000	72.91
MT-6	1000.00	0.0029	1.78	300.00	0.005933	0.46	300.00	0.001533	0.0074667	38.54
MT-7	1200.00	0.0034	2.26	300.00	0.007533	0.92	300.00	0.003067	0.0106000	32.40
MT-8	1000.00	0.0029	0.59	300.00	0.001967	1.74	300.00	0.005800	0.0077667	37.17
MT-9	800.00	0.0023	0.99	300.00	0.003300	0.81	300.00	0.002700	0.0060000	38.56
MT-10	1000.00	0.0029	0.93	300.00	0.003100	0.67	300.00	0.002233	0.0053333	54.54
MT-11	1000.00	0.0029	0.96	300.00	0.003200	0.62	300.00	0.002067	0.0052667	55.00
MT-12	1200.00	0.0035	1.41	300.00	0.004700	0.59	300.00	0.001967	0.0066667	51.84
Promedio Módulo de Corte (Kg/cm²)										50.25
Desviación Estandar σ (Kg/cm²)										11.99
Coefficiente de Variación										23.85%

Fuente: Elaboración propia

El módulo de corte promedio en el tapial típico, obtenidas al ensayar muretes con dimensiones de 40x40x15 cm, es de 50.25 Kg/cm², con una desviación estándar de 11.99 Kg/cm² y con un coeficiente de variación del 23.85%.

Tabla 37 Módulo de corte del tapial reforzado

Especímen	Máxima carga aplicada (Kg)	ΔV_m (Kg/mm ²)	Deformación Unitaria - Vertical			Deformación Unitaria - Horizontal			Deformación Angular (°)	Módulo de Corte G (Kg/cm ²)
			ΔD (mm)	Longitud entre Diales (mm)	ξ_1 (mm/mm)	ΔD (mm)	Longitud entre Diales (mm)	ξ_2 (mm/mm)		
MR-1	2100.00	0.0060	1.95	300.00	0.006500	0.29	300.00	0.000967	0.0074667	80.67
MR-2	1600.00	0.0046	2.47	300.00	0.008233	0.60	300.00	0.002000	0.0102333	45.13
MR-3	2000.00	0.0058	2.37	300.00	0.007900	0.48	300.00	0.001600	0.0095000	61.30
MR-4	1800.00	0.0052	2.15	300.00	0.007167	0.84	300.00	0.002800	0.0099667	52.30
MR-5	1900.00	0.0055	2.22	300.00	0.007400	0.31	300.00	0.001033	0.0084333	65.29
MR-6	1600.00	0.0046	0.98	300.00	0.003267	0.93	300.00	0.003100	0.0063667	72.25
MR-7	1800.00	0.0052	1.39	300.00	0.004633	0.99	300.00	0.003300	0.0079333	65.01
MR-8	1600.00	0.0046	1.90	300.00	0.006333	0.45	300.00	0.001500	0.0078333	59.31
MR-9	1800.00	0.0051	2.19	300.00	0.007300	0.36	300.00	0.001200	0.0085000	60.25
MR-10	1600.00	0.0046	1.67	300.00	0.005567	0.42	300.00	0.001400	0.0069667	65.52
MR-11	1600.00	0.0045	1.83	300.00	0.006100	1.03	300.00	0.003433	0.0095333	47.73
MR-12	1600.00	0.0045	1.73	300.00	0.005767	0.83	300.00	0.002767	0.0085333	52.92
Promedio Módulo de Corte (Kg/cm²)										60.64
Desviación Estandar σ (Kg/cm²)										10.18
Coefficiente de Variación										16.78%

Fuente: Elaboración propia

El módulo de corte promedio en el tapial reforzado con hiladas de mortero de cemento – arena (1:4), obtenidas al ensayar muretes con dimensiones de 40x40x15 cm, es de 60.64 Kg/cm², con una desviación estándar de 10.18 Kg/cm² y con un coeficiente de variación del 16.78%.

4.2.6 Formas de fallas en muretes

En los muretes de albañilería en los que intervienen la unidad y el mortero, el grado de optimización que se obtenga en la adherencia entre la unidad y el mortero se refleja en los ensayos de compresión diagonal de los muretes. De la misma forma se trata en los muretes de tapial en donde la humedad y el grado de compactación al unir una capa con otra, tienen un rol importante en la resistencia a fuerza cortante. Así por ejemplo, cuando la unión entre capas compactadas de tierra es óptima, la falla es un agrietamiento en forma diagonal en dirección de la carga aplicada, logrando maximizar la resistencia a fuerza cortante; en cambio, cuando no se ha logrado optimizar la unión entre capas la falla puede ser escalonada a través de las juntas entre capas o mixta (escalonada – tracción diagonal).



Figura 46. Falla por tracción diagonal en el murete cuadrado reforzado (MR-5)
Fuente: Elaboración propia.



Figura 47. Falla por tracción diagonal en el murete cuadrado típico (MT-8)
Fuente: Elaboración propia.



Figura 48. Falla mixta en el murete cuadrado típico (MT-1)
Fuente: Elaboración propia.



Figura 49. Falla mixta en el murete cuadrado reforzado (MR-7)
Fuente: Elaboración propia.

CAPÍTULO V

ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

5 ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

El material utilizado en la construcción del tapial depende del lugar, en donde se realiza la construcción; estudios realizados por otras universidades indican material compuesto por arcilla de baja plasticidad, arcilla inorgánica con plasticidad media y arena limo – arcillosa. La muestra de trabajo con la que se realiza los especímenes, es una Grava Arcillosa (GC).

Tabla 38 Clasificación de suelos en estudios realizados por diferentes universidades

Universidad	Parámetros	Clasificación S.U.C.S.	
U.N.S.A.A.C.	A.P.V. Ayuda Mutua	CL	Arcilla de Baja Plasticidad
	Muestra de Trabajo	GC	Grava Arcillosa
P.U.C.P.	Campus universitario	CL - ML	Arcilla Inorgánica con Plasticidad Media
	Comas	SM - SC	Arena Limo - Arcillosa
	Muestra de Trabajo	CL	Arcilla de Baja Plasticidad
ANDES	Tapia casa Venados	CL	Arcilla de Baja Plasticidad
	Tapia casa Fernández	CL	Arcilla de Baja Plasticidad
	Tapia Clínica Sta. Barbara	CL	Arcilla de Baja Plasticidad
U.F.P.S.O.	Muestra de Trabajo	SM - SC	Arena Limo - Arcillosa

U.N.S.A.A.C. - Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco

P.U.C.P. - Pontificia Universidad Católica del Perú

ANDES - Universidad de los Andes, Bogota - Colombia

U.F.P.S.O. - Universidad Francisco de Paula Santander, Sección Ocaña - Colombia

Fuente: Elaboración propia

5.1 ANÁLISIS DE RESULTADOS EN PILAS DE ALBAÑILERÍA

5.1.1 Análisis comparativo de la densidad

En los gráficos comparativos se muestra las densidades de los especímenes, tanto del tapial típico (PT) y tapial reforzado con hiladas de mortero de cemento – arena con una dosificación en volumen de 1:4 (PR).

La cantidad de agregado grueso presente en el material grava – arcillosa (GC) es de 19.13% y mediante la compactación del suelo (GC) con un martillo neumático de aguja, hacen que la densidad del tapial varíe entre 1949.59 a 2112.94 kg/m³ en pilas.

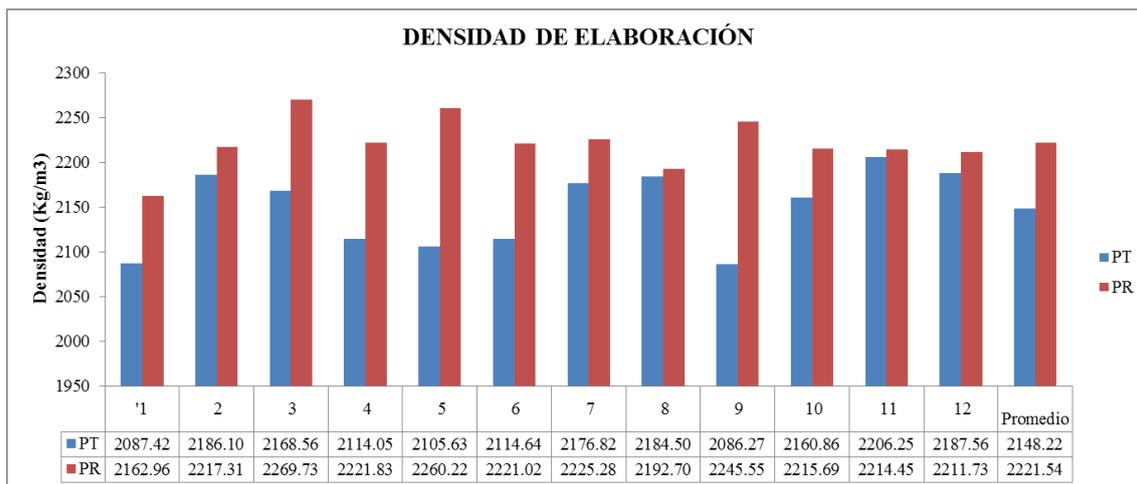


Figura 50. Densidad de elaboración del tapial típico y tapial reforzado.
Fuente: Elaboración propia.

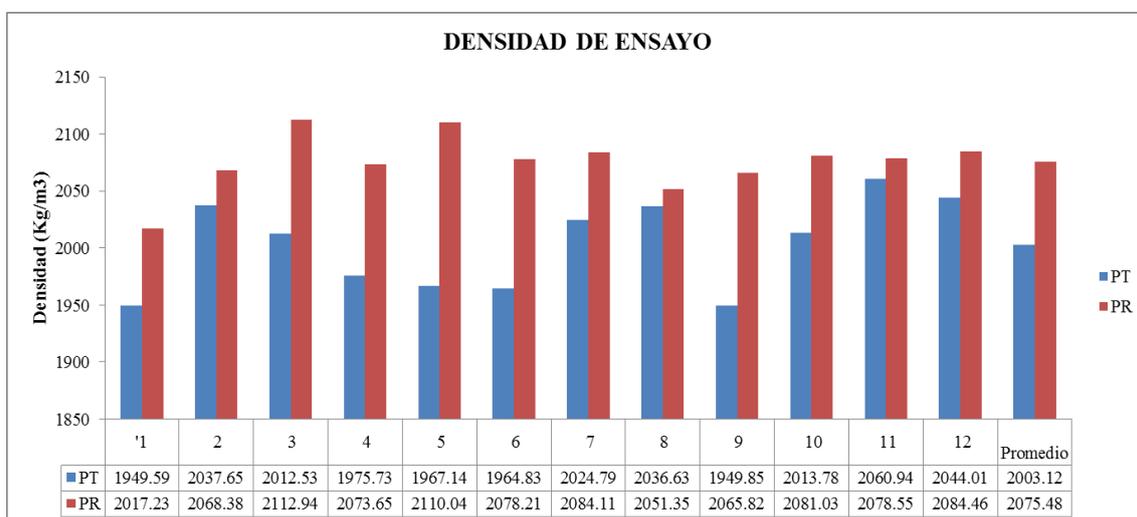


Figura 51. Densidad de ensayo del tapial típico y tapial reforzado.
Fuente: Elaboración propia.

Las densidades de las pilas reforzadas con hiladas de mortero de cemento – arena (1:4) en la elaboración oscilan entre 2162.96 a 2269.73 Kg/m³ y antes del ensayo oscilan entre 2017.23 a 2112.94 Kg/m³, en cambio en las pilas típicas las densidades, tanto en la elaboración y antes del ensayo, están oscilando entre 2086.27 a 2206.25 Kg/m³ y 1949.59 a 2060.94 Kg/m³ respectivamente.

La baja densidad registrada en los especímenes PT1 Y PT9 específicamente es producto a la baja compactación realizada en dichos especímenes pero cumpliendo las condiciones de control de compactación de la norma E-080.

La compactación de estos especímenes se hizo con un compactador neumático, logrando así mayores densidades en comparación con otras investigaciones, en donde las densidades

varían entre 1400 a 2000 Kg/m³, donde la compactación es manual realizado con pisones de madera o metal.

5.1.2 Análisis comparativo de la resistencia a la compresión axial

Se realiza un gráfico comparativo de las resistencias a compresión axial, obtenidas al ensayar pilas de tapial típico, reforzado y la resistencia última que da la norma E.080.

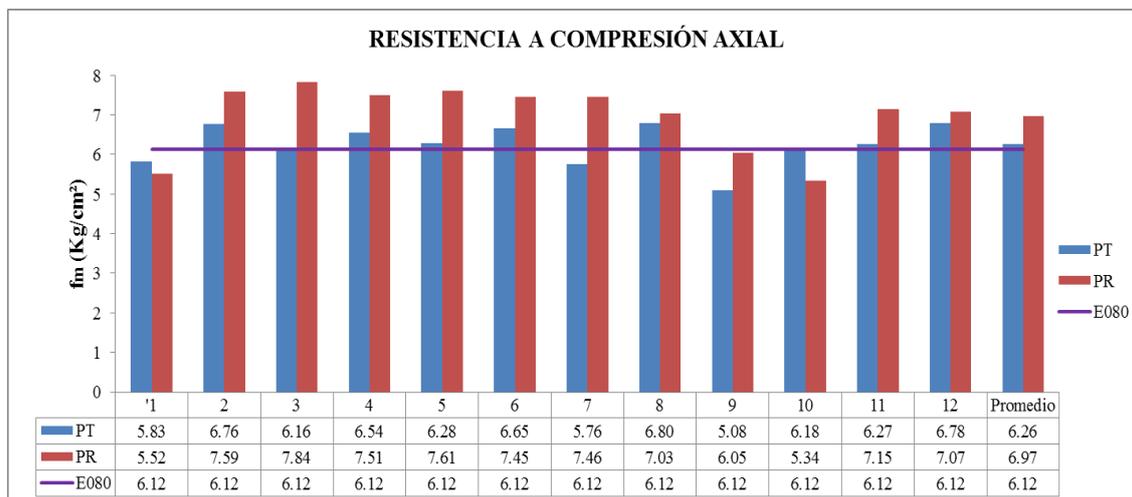


Figura 52. Resistencia a compresión axial del tapial típico y tapial reforzado.
Fuente: Elaboración propia.

El refuerzo de hiladas de mortero de cemento – arena con una dosificación en volumen de 1:4 añadidas a las juntas de las pilas de tapial, aumenta la resistencia a compresión axial en un 11.34% con respecto a las pilas típicas de tapial.

Por otro lado la norma E.080, precisa considerar un esfuerzo de compresión mínimo en pilas de tapial de 6.12 kg/cm², teniendo los resultados obtenidos en pilas de tapial reforzado con hiladas de mortero de cemento – arena con una dosificación en volumen de 1:4, la mayoría de estos resultados están sobre el valor mínimo que establece la norma E.080 para el tapial. En cambio los resultados de compresión axial en pilas de tapial típico cumplen con lo que establece la norma E.080.

El bajo valor presentado por el espécimen PR1 y el resto de los especímenes están directamente relacionados con la compactación realizada en el proceso de elaboración más aun el espécimen PR10 presenta una densidad de 2081.03 kg/cm³ mayor al promedio presentado por especímenes del tipo PR que es 2075.48 kg/cm³ (figura 36).

El bajo valor presentado por el espécimen PR10 es debido a un mal proceso de ensayo en la maquina universal mas no por el proceso de compactación.

5.1.3 Análisis comparativo del módulo de elasticidad

Se realiza un gráfico comparativo de los módulos elásticos de pilas típicas con pilas reforzadas, la cual se muestra a continuación:

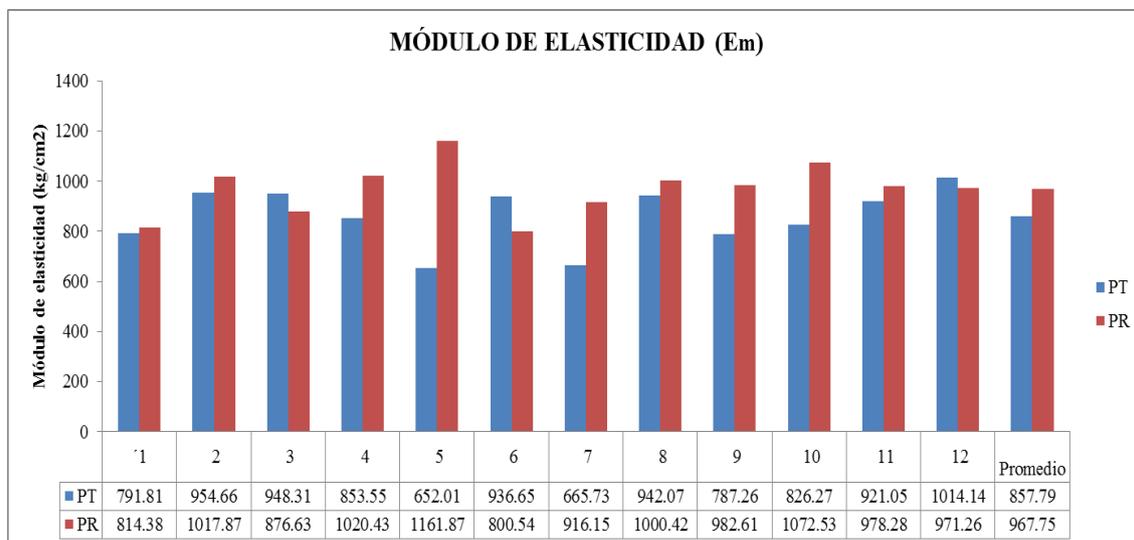


Figura 53. Módulo de elasticidad del tapial típico y tapial reforzado.

Fuente: Elaboración propia.

El módulo de elasticidad mejora, al incluir hiladas de mortero de cemento – arena con una dosificación en volumen de 1:4 en las juntas de las pilas de tapial en un 12.82%, con respecto al módulo de elasticidad promedio de las pilas típicas de tapial.

5.2 ANÁLISIS DE RESULTADOS EN MURETES DE ALBAÑILERÍA

5.2.1 Análisis comparativo de la densidad

En las figuras se muestra las densidades de elaboración y de ensayo de los muretes, de tapial típico (MT) y tapial reforzado con hiladas de mortero de cemento – arena con una dosificación en volumen de 1:4 (MR).

La cantidad de agregado grueso presente en el material grava – arcillosa (GC) es de 19.13% y mediante la compactación del suelo (GC) con un martillo neumático de aguja, hacen que la densidad del tapial varíe entre 1989.13 a 2113.03 kg/m³ en muretes.

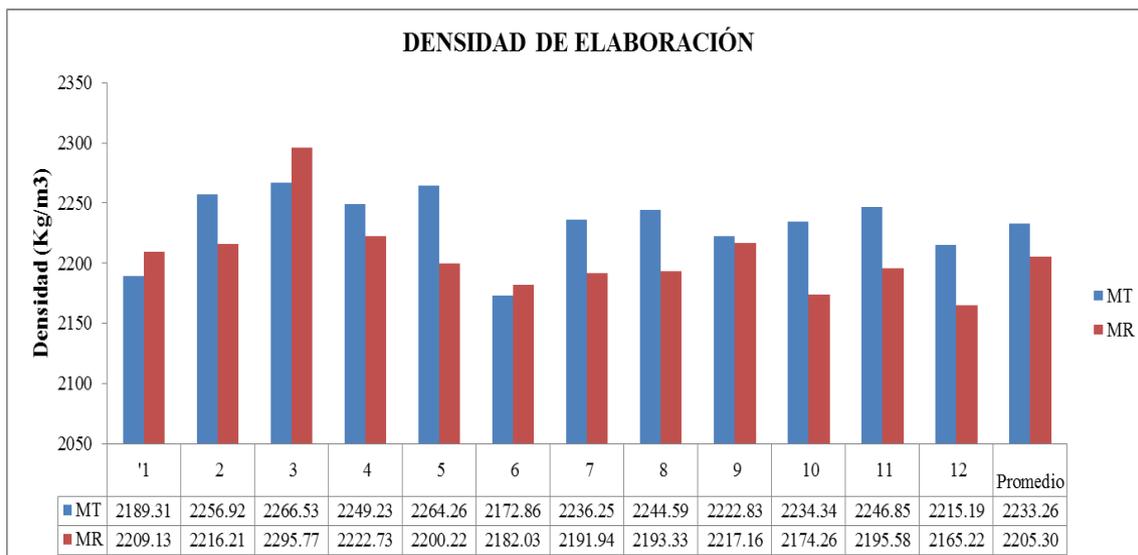


Figura 54. Densidad de elaboración del tapial típico y tapial reforzado.

Fuente: Elaboración propia.

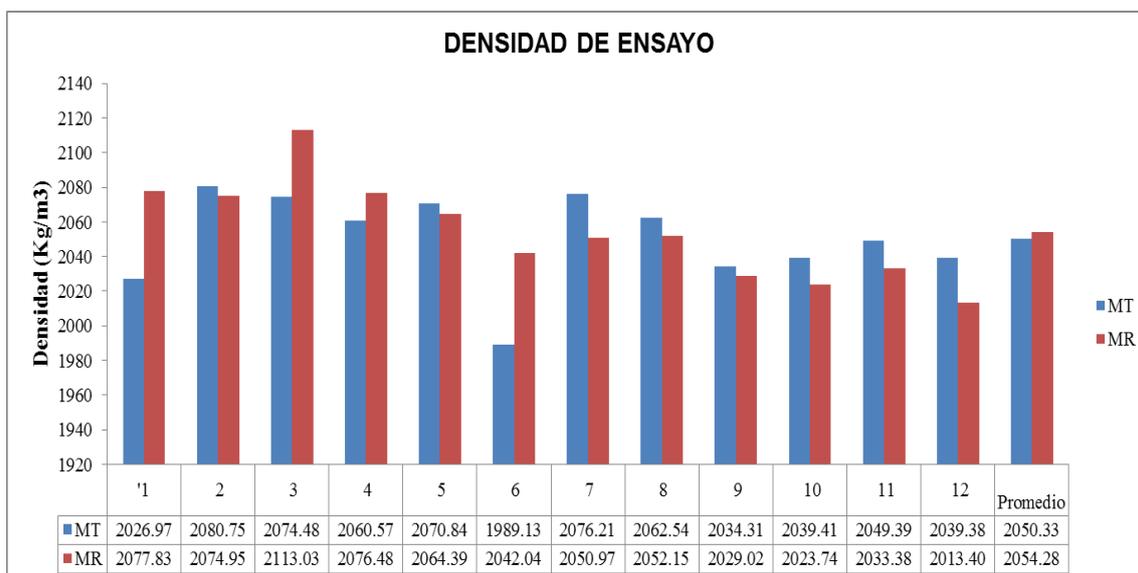


Figura 55. Densidad de ensayo del tapial típico y tapial reforzado.

Fuente: Elaboración propia.

Las densidades de los muretes reforzados con hiladas de mortero de cemento – arena (1:4) en la elaboración oscilan entre 2165.22 a 2295.77 Kg/m³ y antes del ensayo oscilan entre 2013.40 a 2113.03 Kg/m³, en cambio en los muretes típicos la densidad en la elaboración oscilan entre 2172.86 a 2266.53 Kg/m³, y las densidades antes del ensayo oscilan entre 1989.13 a 2080.75 Kg/m³.

La baja densidad registrada en los especímenes MT1 y MT6 específicamente es producto a la baja compactación realizada en dichos especímenes pero cumpliendo las condiciones de control de compactación de la norma E-080.

La compactación de estos especímenes se hizo con un compactador neumático, logrando así mayores densidades en comparación con otras investigaciones, en donde las densidades varían entre 1400 a 2000 Kg/m³, donde la compactación es manual realizado con pisones de madera o metal.

5.2.2 Análisis comparativo del esfuerzo cortante

Se realiza un gráfico comparativo de la resistencia a esfuerzo cortante de las dos variables a estudiar.

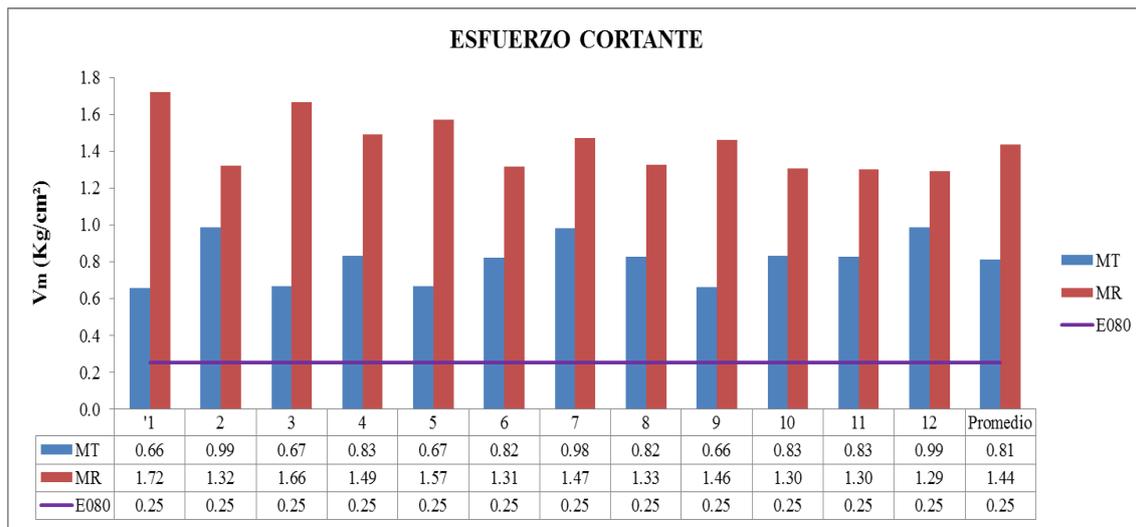


Figura 56. Resistencia a esfuerzo cortante del tapial típico y tapial reforzado.
Fuente: Elaboración propia.

El esfuerzo cortante mejora al incluir hiladas de mortero de cemento – arena con una dosificación en volumen 1:4, en las juntas del tapial en un 77.78%, con respecto al esfuerzo cortante del murete típico de tapial.

El bajo valor presentado por el especímenes están directamente relacionados con la compactación realizada en el proceso de elaboración.

Los resultados obtenidos de esfuerzo cortante en los muretes de tapial típico y tapial reforzado están por encima del valor mínimo que establece la norma E.080 para el tapial.

5.2.3 Análisis comparativo del módulo de corte

Se realiza un gráfico comparativo de los módulos de corte de muretes típicos con muretes reforzados, la cual se muestra a continuación:

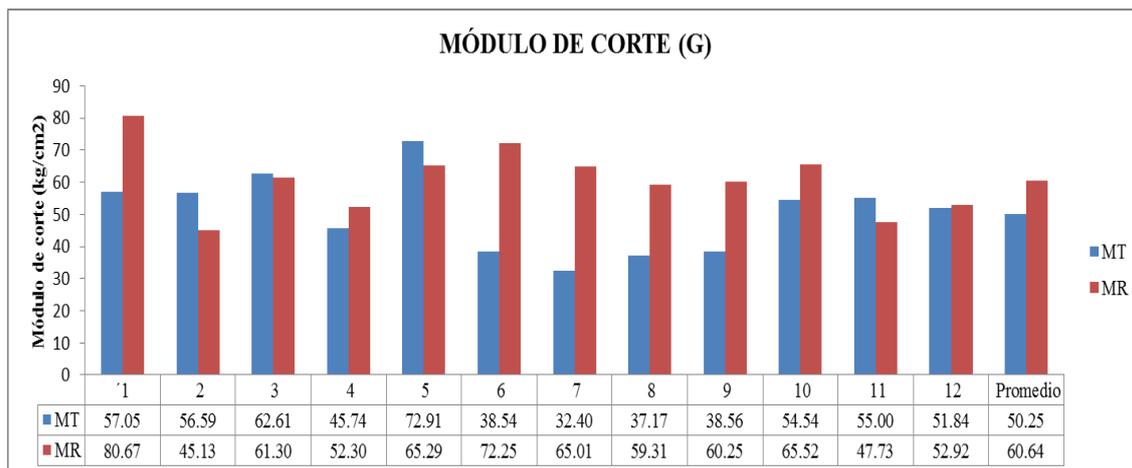


Figura 57. Módulo de corte del tapial típico y tapial reforzado.

Fuente: Elaboración propia.

El módulo de corte mejora al incluir hiladas de mortero de cemento – arena con una dosificación en volumen de 1:4 en las juntas de los muretes de tapial, en un 20.68%, con respecto al módulo de corte promedio de los muretes típicos de tapial.

Los valores de módulo de corte presentados de MT Y MR en la *Figura 42* están relacionados directamente con el proceso de compactación individualmente por espécimen.

5.3 ANÁLISIS DE RESULTADOS RESPECTO A NORMAS Y OTRAS INVESTIGACIONES

En el siguiente cuadro se muestra un resumen de los resultados de normas e investigaciones, en los cuales la principal finalidad es determinar las propiedades mecánicas del tapial. Es cierto que estos estudios se realizan con un material propio del lugar, técnicas constructivas diferentes y bajo ciertas condiciones; sin embargo, estas investigaciones recomiendan la utilización o no del material en cuestión.

Tabla 39 Propiedades mecánicas del tapial determinados por diversos autores

Autor (es)	Tapial	Clasificación de la muestra de trabajo		Humedad final de compactado	Compactación	Densidad (kg/m ³)	Pilas		Muretes	
							Dimensiones (cm)	Compresión axial (kg/cm ²)	Dimensiones (cm)	Esfuerzo cortante (kg/cm ²)
Chuqui Paucar W. & Challico Ruelas R., 2017	Típico	GC	Grava arcillosa	7 - 8.5 %	Fueron elaborados con 5 capas de 80 mm cada uno con un pisón neumático de aguja	1950 - 2080	30 x 40 x 15	6.26	40 x 40 x 15	0.81
	Reforzado con hiladas de mortero de cemento-arena (1:4)			7 - 8.5 %		2010 - 2115		6.96		1.44
Norma E.080, 2017	Típico	Se debe de fabricar en capas de tierra de 0.15 m. de altura máxima, compactandolas hasta llegar a una altura de 0.10 m., con un mazo de madera de 10 kg de peso					La altura debe ser igual a tres veces la menor dimensión de la base	Resistencia última es de 6.12 kg/cm ²	65 x 65 x e _m	Resistencia última es de 0.25 kg/cm ²
Torrealva Dávila, Daniel, 2013	Típico	CL	Arcilla de baja plasticidad	6 - 8 %	Compactador manual de 10 kg de peso	-----	28 x 40 x 20	10.70	40 x 40 x 27	1.66
Afanador N., Carrascal M. & Bayona M., 2013	Típico	SM-SC	Arena limo - arcillosa	Humedad promedio de 11.17 %	Construcción de 7 capas de 70 mm. compactadas con pisón de madera de 3 y 4 kg Fueron elaborados con 3 capas de 50 mm cada uno con pisón de madera de 2.4 kg y 100 golpes por capa	1720 - 1990	50 x 50 x 25	1.70	50 x 50 x 25	0.22
							10 x 20 x 15	4.40	-----	-----
							15 x 20 x 15	4.50	-----	-----
20 x 20 x 15	3.90	-----	-----							
Yamin L., Phillips C., Reyes J. & Ruiz D., 2007	Típico	CL	Arcilla de baja plasticidad	-----	Capas de tierra compactada con espesores del orden de 0.10 m. La compactación se realiza con pisones de madera	La densidad promedio es de 1.93 ton/m ³	Espesores variables entre 14.5 y 40 cm. Lado variable entre 75 y 100 cm.	5.50	Espesores variables entre 14.5 y 40 cm. Lado variable entre 75 y 100 cm.	0.37
Carbajal Alfaro, Raúl Enrique, 1987	Típico	CL-ML	Arcilla inorgánica	16 - 18 %	La elaboración fue en capas de 10 cm compactados, con pisones de madera de 9.5 y 10 kg de peso	1900 - 2020	-----	-----	60 x 60 x 15	1.79
	Típico	SM	Arena limosa bien graduada con contenido de finos no plásticos	8 - 10%		2000 - 2090	-----	-----	60 x 60 x 15	0.59
Ferreiros Villacorta, José Darío, 1986	Típico	CL	Arcilla inorgánica con plasticidad entre baja y media	13 - 22 %	La elaboración fue en capas de 10 cm compactados, con pisones de madera de 9.5 y 10 kg de peso	1880 - 2100	-----	10.72	60 x 60 x 15	1.77

Fuente: Elaboración propia

5.4 COMPARACIÓN DE COSTOS ENTRE EL TAPIAL Y ADOBE

Se realiza un análisis económico de los 2 sistemas constructivos, tapial y adobe, los cuales se especifican a continuación:

- a) Muro de adobe.
- b) Muro de Tapial típico.
- c) Muro de Tapial reforzado con hiladas de mortero de cemento – arena con una dosificación en volumen de 1:5.

Del análisis de costos, se obtiene el costo por M2 de la construcción de los muros indicados, líneas arriba:

Tabla 40 Costo por M2 de la construcción de muro de adobe y tapial

Tipo de muro	Costo directo por M2
Adobe	S/. 130.54
Tapial típico	S/. 151.84
Tapial reforzado	S/. 164.39

Fuente: Elaboración propia

De los resultados obtenidos, se puede inferir, que el muro construido con adobe es la más económica, sin embargo estos no tienen un buen comportamiento ante eventos sísmicos al igual que el tapial típico, es decir, serían más vulnerables en comparación con los muros reforzados de tapial.

CAPÍTULO VI

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 CONCLUSIONES

Conclusión 1:

En la presente investigación se demostró que la inclusión de hiladas de mortero de cemento – arena con una dosificación en volumen de 1:4 como refuerzo, en las juntas del tapial, mejora la resistencia a compresión axial en un 11.34%, con respecto al tapial típico. Lo mismo ocurre con el esfuerzo cortante que presenta un incremento del 77.78% con respecto al esfuerzo cortante del tapial típico.

Conclusión 2:

En la presente investigación se ha determinado que la resistencia promedio a compresión axial de las pilas de tapial reforzado con hiladas de mortero de cemento – arena (1:4), obtenidas al ensayar especímenes de 30x40x15 cm es de 6.97 Kg/cm², con una desviación estándar de 0.85 Kg/cm² y con un coeficiente de variación del 12.21%.

Conclusión 3:

En la presente investigación se ha determinado que la resistencia promedio a compresión axial de las pilas de tapial típico, obtenidas al ensayar especímenes de 30x40x15 cm es de 6.26 Kg/cm², con una desviación estándar de 0.51 Kg/cm² y con un coeficiente de variación del 8.16%.

Conclusión 4:

En la presente investigación se ha determinado que la resistencia promedio a esfuerzo cortante en los muretes de tapial reforzado con hiladas de mortero de cemento – arena (1:4), obtenidas al ensayar especímenes de 40x40x15 cm, es de 1.44 Kg/cm², con una desviación estándar de 0.15 Kg/cm² y con un coeficiente de variación del 10.58%.

Conclusión 5:

En la presente investigación se ha determinado que la resistencia promedio a esfuerzo cortante en los muretes de tapial típico, obtenidas al ensayar especímenes de 40x40x15 cm, es de 0.81 Kg/cm², con una desviación estándar de 0.13 Kg/cm² y con un coeficiente de variación del 15.74%.

Conclusión 6:

La inclusión de hiladas de mortero de cemento – arena con una dosificación en volumen de 1:4 como refuerzo, en las juntas del tapial, mejora el módulo de elasticidad del tapial reforzado (967.75 kg/cm²) que presenta un incremento del 13%, respecto al módulo elástico del tapial típico (857.79 kg/cm²). Del mismo modo las hiladas de mortero de cemento – arena mejoran el módulo de corte del tapial reforzado (60.64 kg/cm²) que presenta un incremento del 21%, respecto al módulo de corte del tapial típico (50.25 kg/cm²)

Conclusión 7:

En la investigación se ha determinado que el costo por m² del adobe es la más económica en comparación con los muros de tapial típico y reforzado teniendo un incremento de costo de S/21.30 (16%) y S/33.85 (25%) respectivamente; sin embargo de acuerdo a la norma Peruana E.080 el muro de adobe tiene una resistencia última de 0.25 kg/cm², lo mismo ocurre con el tapial típico que tiene valores de resistencia al esfuerzo de corte que fluctúan entre 0.66 a 0.99 kg/cm². El tapial reforzado tiene una mejor resistencia al esfuerzo de corte con valores que varían entre 1.29 a 1.72 kg/cm². Teniendo en cuenta estos valores de resistencia al esfuerzo de corte, se concluye que el tapial reforzado con hiladas de mortero de cemento – arena con una dosificación en volumen de 1:4, tiene una mejor ventaja en el costo – seguridad con respecto al adobe y al tapial típico, desde el punto de vista sísmico.

6.2 RECOMENDACIONES

Recomendación 1:

En la construcción de los especímenes es importante garantizar una densidad adecuada tal que permita esfuerzos importantes en compresión y cortante, por lo tanto se sugiere controlar el tiempo de compactación y utilizar capas de compactación entre 13 a 15 cm, como también controlar el contenido óptimo de agua y garantizar una mezcla homogénea.

Recomendación 2:

Controlar el área de exposición de secado de los especímenes para tener un mejor control del tiempo de secado del tapial.

Recomendación 3:

De los resultados de la pérdida de humedad vs el tiempo de secado se recomienda que el tiempo de secado de las pilas de 30x40x15 cm sea de 23 días y para los muretes de 40x40x15 cm el tiempo de secado sea de 25 días para el material grava – arcillosa (GC).

Recomendación 4:

Se debe Garantizar la verticalidad y rigidez de los encofrados durante la compactación de los especímenes, de esta forma se uniformiza las dimensiones de pilas y muretes.

Recomendación 5:

Una solución para mejorar el esfuerzo cortante de los tapiales es utilizar como refuerzo las hiladas de mortero de cemento – arena (1:4) en las juntas de los muros de las viviendas de tapial y que estas viviendas tengan un mejor comportamiento ante eventos sísmicos.

Recomendación 6:

Debido a que en las zonas rurales de Cusco, la mayor parte de las viviendas edificadas a base de tierra son de adobe, se recomienda realizar mayores estudios sobre el tema tapial, esto con el objetivo de tener otra alternativa de construcción de viviendas a base de tierra en zonas rurales.

7 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Afanador Garcia, N., Carrascal Delgado, M., & Bayona Chinchilla, M. J. (2013). Experimentación, Comportamiento y Modelación de la Tapia Pisada. *Revista Facultad de Ingeniería, UPTC*, Vol. 22, No 35. pp.47-59.
- Bartolomé Ramos, A. S. (s.f.). *Comentarios a la Norma E.070 Albañilería*. Capítulo 5 - Resistencia de Prismas de Albañilería, Lima, Perú: SENCICO.
- Benitez, R. L., & Corena, C. J. (2009). *Influencia de las Propiedades Físico- Mecánicas en el Material Tierra para Construcción con Tapia Pisada*. Tesis De Grado, Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga, Colombia.
- Bestraten, S., Hormías, E., & Altemir, A. (2011). *Informes de la construcción. Construcción con tierra en el siglo XXI*. Vol. 63, 523, 5-20. Barcelona.
- Bosch, M., Navarro, A., & Allepuz, L. (2013). Proyecto casa S-LOW: Construcción del Prototipo y Experiencia Docente. *Construcción con Tierra. Patrimonio y Vivienda. X CIATTI. En: Congreso de arquitectura de tierra en Cuenca de Campos 2013*. [online], 259-266.
- Castilla Pascual, F. J. (2004). *Estabilización de Morteros de Barro para la Protección de Muros de Tierra*. Tesis Doctoral, Vol. II-Anexos, Universidad Politécnica de Madrid, Madrid, España.
- Cid Falceto, J., & Cañas Guerrero, I. (s.f.). *Construcción con Tierra: Materias Primas*. Universidad Politécnica de Madrid, Madrid, España.
- Guerrero Baca, L. F. (17 de Marzo de 2009). *El Tapial, un Sistema Constructivo Patrimonial*. En: Escuela Nacional de Conservación, Restauración y Museografía "Manuel del Castillo Negrete" Memorias 2o Foro Academico. Chile.
- Huanca Arotaipe, P. O. (Octubre de 2016). *Evaluación de las Propiedades Físicas y Mecánicas del Adobe de Miska-Paruro (Sismo, Cusco Setiembre de 2014)*. Tesis de Grado, Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco, Cusco, Perú.
- Instituto Nacional de Investigación y Normalización de la Vivienda (ININVI). (1989). *Construcción con Tapial*. Lima: Marens Artes Graficas E.I.R.L.
- Iparraguirre Cieza, Y. L. (julio de 2014). *Comportamiento Sísmicos de Muros de Albañilería Confinada Tipo Haití, Ensayo de Carga Lateral y Vertical*. Tesis de Grado, Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima, Perú.
- Juárez Badillo, E., & Rico Rodríguez, A. (1976). *Mecánica De Suelos. Tomo I - Fundamentos de la Mecánica de Suelos*. México: EDITORIAL LIMUSA .S.A.
- Maldonado, L., Vela Cossio, F., & Hoz, J. (2003). *Diccionario de Construcción Tradicional. Tierra*. San Sebastian: Nerea.

- Martins Neves, C. M., Borges Faria, O., Rotondaro, R., Cevallos Salas, P., & Hoffman, M. V. (Octubre de 2009). *Selección de Suelos y Métodos de Control en la Construcción con Tierra-Prácticas de Campo*. Obtenido de PROTERRA:
<http://www.redproterra.org>
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC). (2016). *Manual de Ensayo de Materiales*. Lima, Perú.
- Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. (2006). *Norma Técnica E.070 Albañilería*. Lima, Perú.
- Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. (2017). *Norma Técnica E.080 Diseño y Construcción con Tierra Reforzada*. Lima, Perú.
- Minke, G. (2005). *Manual de Construcción en Tierra*. Alemania: EDITORIAL FIN DE SIGLO.
- Neves, C., & Faria, O. B. (2011). *Técnicas de Construcción con Tierra*. Bauru, SP: FEB-UNESP/PROTERRA, 79p. Obtenido de <http://www.redproterra.org>
- Spotorno, R. Á., Pochettino, J. J., Figueredo, G. R., & García, F. C. (2016). *Ensayos Experimentales del Proceso de Secado de Adobe de Arcilla de la Zona de Makalle (Chaco)*. "III Congreso Argentino de Ingeniería - IX Congreso de Enseñanza de la Ingeniería". Argentina.
- Tejada Schmidt, U., Mendoza García, A., & Torrealva Dávila, D. (2013). *Uso del Tapial en la Construcción*. Lima: SENCICO.
- Vildoso, A., & Monson, F. M. (1984). *Seguir Construyendo con Tierra*. Lima: CRATERRE.
- Viñuales, G. M., Martins Neves, C. M., Silvio Rios, L., & Octavio Flores, M. (2003). *Arquitecturas de Tierra en Iberoamérica*. Salvador: Impresiones Sudamérica.
- Yamin Lacoutore, L. E., Phillips Bernal, C., Reyes Ortiz, J. C., & Ruiz Valencia, D. (2007). Estudios de Vulnerabilidad Sísmica, Rehabilitación y Refuerzo de Casa en Adobe y Tapia Pisada. *FOREC*, Apuntes Vol. 20, núm. 2, 286-303.

CAPÍTULO VIII

ANEXOS

ANEXO 1: ENSAYOS DE CARACTERIZACIÓN DE LOS MATERIALES

SUELO



CONTENIDO DE HUMEDAD

- Tesis** : "EVALUACION DE LAS PROPIEDADES MECANICAS DE MUROS TIPO TAPIAL CON PRESENCIA DE HILADAS DE MORTERO DE CEMENTO - ARENA, UTILIZADAS EN VIVIENDAS ECONOMICAS DE LA A.P.V. AYUDA MUTUA EL AÑO 2017, CUSCO"
- Realizado** : Br. Ing. Wilfredo Chuqui Paucar
Br. Ing. Ronald A. Challco Ruelas
- Ubicación** :
- Localidad:** A.P.V. Ayuda Mutua **ENSAYO N°** : 1
Distrito: Cusco **MUESTRA** : T-1
Provincia: Cusco **MATERIAL** : Suelo natural de color marron, con presencia de piedras medianas
Dpto: Cusco
- Fecha** : 08 de Agosto de 2017

Contenido de Humedad del Suelo

Cápsula Nro.		H1	H2	H3	H4
Peso Cápsula	(gr)	58.55	58.27	61.79	58.23
Peso de Cápsula+Suelo Humedo	(gr)	87.36	93.04	99.70	86.05
Peso de Cápsula+Suelo Seco	(gr)	86.32	91.60	98.24	84.79
Peso del Suelo Seco	(gr)	27.77	33.33	36.45	26.56
Peso de Agua	(gr)	1.04	1.44	1.46	1.26
Contenido de Humedad	%	3.75%	4.32%	4.01%	4.74%

Contenido de Agua Promedio = 4.20%



LÍMITES DE CONSISTENCIA

Tesis : "EVALUACION DE LAS PROPIEDADES MECANICAS DE MUROS TIPO TAPIAL CON PRESENCIA DE HILADAS DE MORTERO DE CEMENTO - ARENA, UTILIZADAS EN VIVIENDAS ECONOMICAS DE LA A.P.V. AYUDA MUTUA EL AÑO 2017, CUSCO"

Realizado : Br. Ing. Wilfredo Chuqui Paucar
 Br. Ing. Ronald A. Challco Ruelas

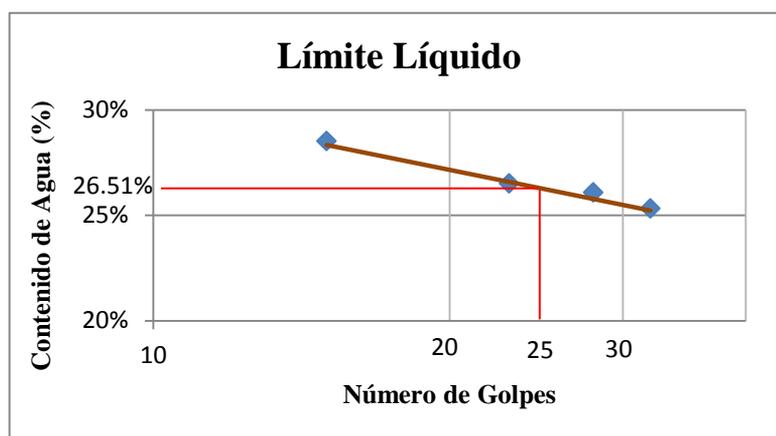
Ubicación :

Localidad: A.P.V. Ayuda Mutua **ENSAYO N°** : 1
Distrito: Cusco **MUESTRA** : T-1
Provincia: Cusco **MATERIAL** : Suelo natural de color marron, con presencia de piedras medianas
Dpto: Cusco

Fecha : 11 de Agosto de 2017

Límite Líquido

Cápsula N°		L1	L2	L3	L4
Peso Cápsula + Suelo Húmedo	(gr)	81.10	80.58	89.92	83.98
Peso Cápsula + Suelo seco	(gr)	76.79	76.00	84.32	78.27
Peso de Cápsula	(gr)	59.77	58.44	63.19	58.24
Peso de Agua	(gr)	4.31	4.58	5.60	5.71
Número de Golpes		32	28	23	15
Contenido de Humedad	(w)	25.32%	26.08%	26.50%	28.51%



Límite Plástico

Cápsula N°		P1	P2	P3
Peso Cápsula + Suelo Húmedo	(gr)	75.65	75.61	76.36
Peso Cápsula + Suelo seco	(gr)	73.04	73.00	73.64
Peso de Cápsula	(gr)	60.44	58.95	58.62
Peso de Agua	(gr)	2.61	2.61	2.72
Contenido de Humedad	(w)	20.71%	18.58%	18.11%

LL	=	26.51%
LP	=	19.13%
IP	=	7.38%



PESO ESPECÍFICO

Tesis : "EVALUACION DE LAS PROPIEDADES MECANICAS DE MUROS TIPO TAPIAL CON PRESENCIA DE HILADAS DE MORTERO DE CEMENTO - ARENA, UTILIZADAS EN VIVIENDAS ECONOMICAS DE LA A.P.V. AYUDA MUTUA EL AÑO 2017, CUSCO"

Realizado : Br. Ing. Wilfredo Chuqui Paucar
Br. Ing. Ronald A. Challco Ruelas

Ubicación :

Localidad: A.P.V. Ayuda Mutua	ENSAYO N° : 1
Distrito: Cusco	MUESTRA : T-1
Provincia: Cusco	MATERIAL : Suelo natural de color marron, con presencia de piedras medianas
Dpto: Cusco	

Fecha : 14 de Agosto de 2017

Peso Especifico del Suelo

Muestra N°		E1	E2
Peso Suelo Seco	(gr)	59.21	58.95
Peso Picnómetro + Agua	(gr)	676.65	676.09
Peso Picnómetro + Agua + Suelo Seco	(gr)	714.27	713.80
Peso Específico		2.74	2.78

Peso Específico	Gs	=	2.76
------------------------	-----------	----------	-------------



ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO

Tesis : "EVALUACION DE LAS PROPIEDADES MECANICAS DE MUROS TIPO TAPIAL CON PRESENCIA DE HILADAS DE MORTERO DE CEMENTO - ARENA, UTILIZADAS EN VIVIENDAS ECONOMICAS DE LA A.P.V. AYUDA MUTUA EL AÑO 2017, CUSCO"

Realizado : Br. Ing. Wilfredo Chuqui Paucar
 Br. Ing. Ronald A. Challco Ruelas

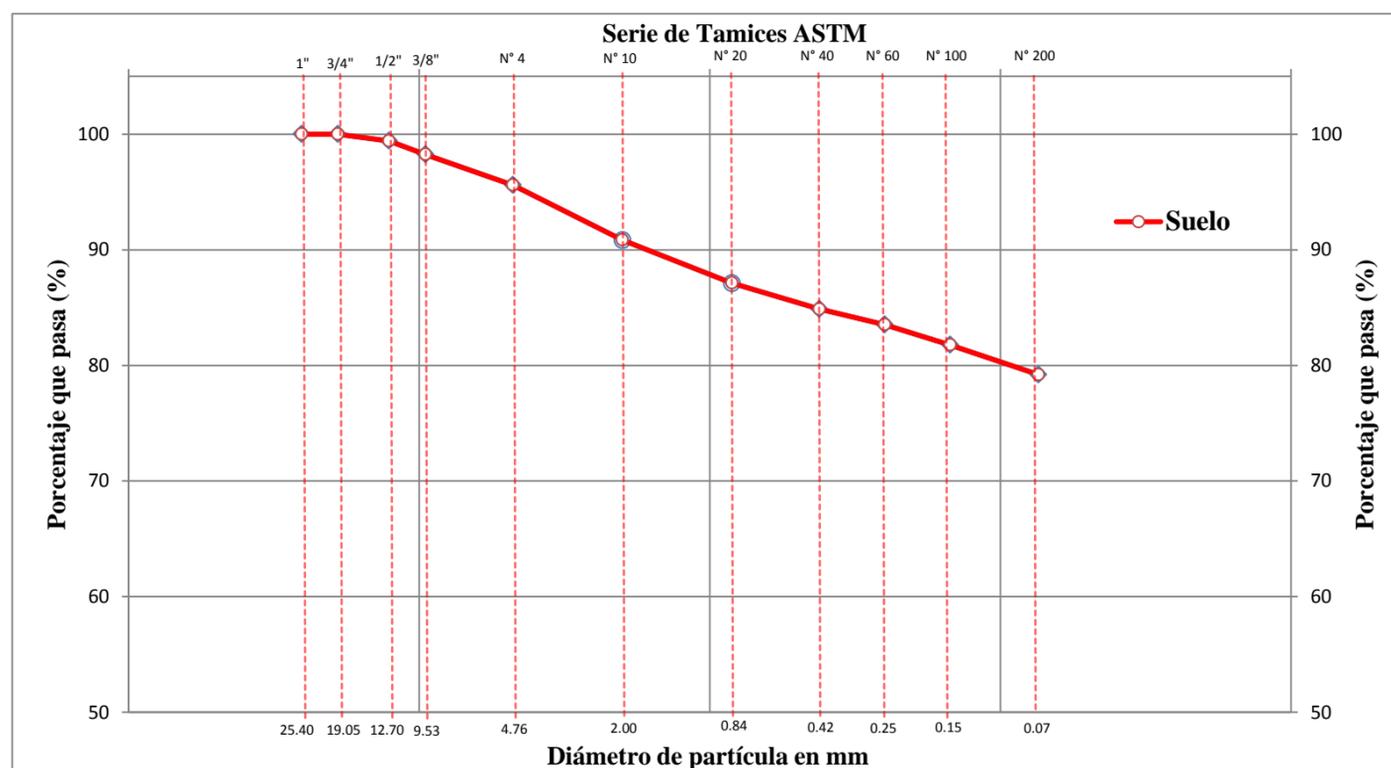
Ubicación :
Localidad: A.P.V. Ayuda Mutua **ENSAYO N°** : 1
Distrito: Cusco **MUESTRA** : T-1
Provincia: Cusco **MATERIAL** : Suelo natural de color marron, con presencia de piedras medianas
Dpto: Cusco

Fecha : 17 de Agosto de 2017

Peso Recipiente : **185.86**
 Peso de la Muestra : **1000.00**
 Peso Desp. De Lavar + Recipiente : **397.50**
 Peso Desp. De Lavar : **211.64**
 % de Error en Peso : **0.21%**

Tamiz	Diámetro (mm)	Peso Retenido	Peso Corregido	% Retenido	% Retenido Acumulado	% Pasa
1	25.400	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00
3/4	19.050	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00
1/2	12.700	5.89	5.88	0.59	0.59	99.41
3/8	9.525	11.69	11.67	1.17	1.75	98.25
4	4.760	26.65	26.59	2.66	4.41	95.59
10	2.000	47.50	47.40	4.74	9.15	90.85
20	0.840	37.31	37.23	3.72	12.88	87.12
40	0.420	22.55	22.50	2.25	15.13	84.87
60	0.250	13.57	13.54	1.35	16.48	83.52
100	0.149	17.50	17.46	1.75	18.23	81.77
200	0.074	25.71	25.66	2.57	20.79	79.21
Cazuela	0.000	3.71	3.70	0.37	21.16	78.84
Lavado	0.000	788.36	788.36	78.84	100.00	0.00
Total fracción retenida en lavado		212.08	211.64	100.00		

Curva de Distribución Granulométrica del Suelo



D10 = ----	Cu = ----	% de Grava = 4.41%
D30 = ----	Cc = ----	% de Arena = 16.75%
D60 = ----		% de Finos = 78.84%



ENSAYO DE COMPACTACION

Tesis : "EVALUACION DE LAS PROPIEDADES MECANICAS DE MUROS TIPO TAPIAL CON PRESENCIA DE HILADAS DE MORTERO DE CEMENTO - ARENA, UTILIZADAS EN VIVIENDAS ECONOMICAS DE LA A.P.V. AYUDA MUTUA EL AÑO 2017, CUSCO"

Realizado : Br. Ing. Wilfredo Chuqui Paucar
 Br. Ing. Ronald A. Challco Ruelas

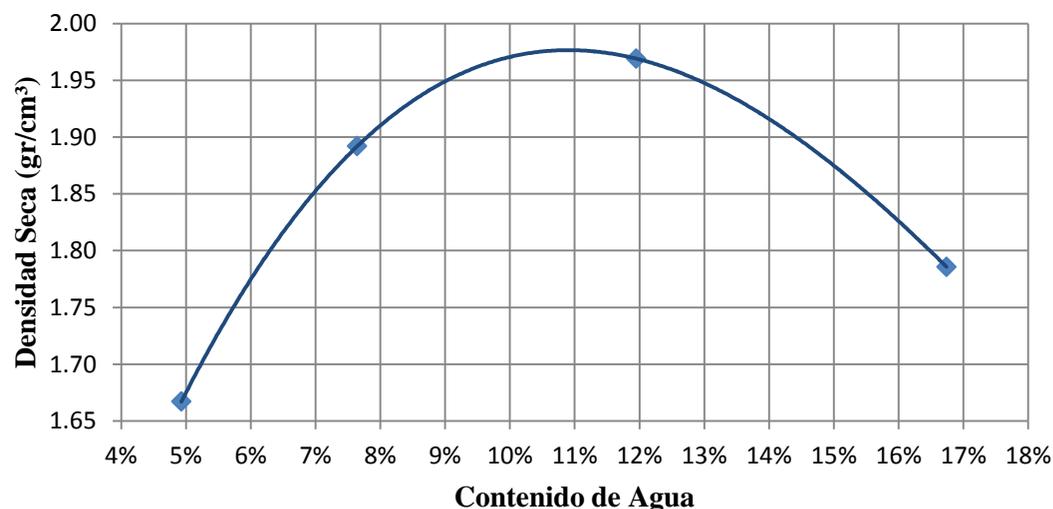
Ubicación :
Localidad: A.P.V. Ayuda Mutua **ENSAYO N°** : 1
Distrito: Cusco **MUESTRA** : T-1
Provincia: Cusco **MATERIAL** : Suelo natural de color marron, con presencia de piedras medianas
Dpto: Cusco

Fecha : 21 y 22 de Agosto de 2017

Peso Pisón (gr)	: 4.54	Diámetro Molde (cm)	15.20
Altura Caída (cm)	: 45.72	Altura Molde (cm)	11.50
N° de Capas	: 03	Peso del Molde (gr)	6500.00
N° de Golpes por Capa	: 25	Volumen Molde (cm ³)	2086.77

Peso Suelo Húmedo + Molde (gr)	10150.00	10750.00	11100.00	10850.00				
Peso suelo Húmedo (gr)	3650.00	4250.00	4600.00	4350.00				
Densidad Suelo Húmedo (gr/cm ³)	1.75	2.04	2.20	2.08				
Cápsula N°	C-1	C-2	C-3	C-4	C-5	C-6	C-7	C-8
Cápsula + Suelo Húmedo (gr)	79.66	76.72	75.72	73.44	83.18	80.65	85.27	98.33
Cápsula + Suelo Seco (gr)	78.55	76.01	74.62	72.49	80.90	78.24	81.49	92.87
Peso del Agua (gr)	1.11	0.71	1.10	0.95	2.28	2.41	3.78	5.46
Peso de Cápsula (gr)	58.33	59.76	60.79	59.54	61.17	58.71	59.03	60.08
Peso del Suelo Seco (gr)	20.22	16.25	13.83	12.95	19.73	19.53	22.46	32.79
Contenido de Agua (w̄)	5.49%	4.37%	7.95%	7.34%	11.56%	12.34%	16.83%	16.65%
	4.93%	7.64%	11.95%	16.74%				
Densidad Seca (gr/cm ³)	1.67	1.89	1.97	1.79				

Gráfico de Compactación del Suelo



Densidad Seca Máxima (gr/cm³)	1.976
Contenido de Agua Óptimo (w̄)	10.70%

AGREGADOS



PESO ESPECÍFICO

Tesis : "EVALUACION DE LAS PROPIEDADES MECANICAS DE MUROS TIPO TAPIAL CON PRESENCIA DE HILADAS DE MORTERO DE CEMENTO - ARENA, UTILIZADAS EN VIVIENDAS ECONOMICAS DE LA A.P.V. AYUDA MUTUA EL AÑO 2017, CUSCO"

Realizado : Br. Ing. Wilfredo Chuqui Paucar
 Br. Ing. Ronald A. Challco Ruelas

Ubicación :

Localidad: A.P.V. Ayuda Mutua	ENSAYO N° : 1	
Distrito: Cusco	MUESTRA : Agregado Fino	AF-1
Provincia: Cusco	Agregado Grueso	AG-1
Dpto: Cusco		

Fecha : 29 y 30 de Agosto de 2017

Peso Especifico del Agregado Fino

Muestra N°		F1
Peso de la Muestra Seca en el Aire	(gr)	472.88
Peso del Frasco + Agua	(gr)	641.82
Peso de la Muestra Saturada Superficialmente Seca en el Aire	(gr)	500.00
Peso del Frasco + Agua con la Muestra Saturada	(gr)	948.35
Peso Especifico de Masa Saturada con Superficie seca (Pesss)		2.44

Peso Especifico (Pesss)	2.44
--------------------------------	-------------

Absorción	5.74%
------------------	--------------

Peso Especifico del Agregado Grueso

Muestra N°		G1
Peso de la Muestra Seca en el Aire	(gr)	494.11
Peso de la Probeta + Agua	(gr)	1148.36
Peso de la Muestra Saturada Superficialmente Seca en el Aire	(gr)	500.30
Peso de la Probeta + Agua con la Muestra Saturada	(gr)	1465.85
Peso Especifico de Masa Saturada con Superficie seca (Pesss)		2.70

Peso Especifico (Pesss)	2.70
--------------------------------	-------------

Absorción	1.25%
------------------	--------------

ARENA Y CONFITILLO



PESO ESPECÍFICO

Tesis : "EVALUACION DE LAS PROPIEDADES MECANICAS DE MUROS TIPO TAPIAL CON PRESENCIA DE HILADAS DE MORTERO DE CEMENTO - ARENA, UTILIZADAS EN VIVIENDAS ECONOMICAS DE LA A.P.V. AYUDA MUTUA EL AÑO 2017, CUSCO"

Realizado : Br. Ing. Wilfredo Chuqui Paucar
 Br. Ing. Ronald A. Challco Ruelas

Ubicación :

Localidad: A.P.V. Ayuda Mutua	ENSAYO N° : 1	
Distrito: Cusco	MUESTRA : Arena	A-1
Provincia: Cusco	Arena-Cunyac	45%
Dpto: Cusco	Confitillo-Bicho	55%

Fecha : 12 y 13 de Setiembre de 2017

Peso Específico de la Mezcla de Arena y Confitillo

Muestra N°	A1
Peso de la Muestra Seca en el Aire (gr)	472.56
Peso del Frasco + Agua (gr)	646.13
Peso de la Muestra Saturada Superficialmente Seca en el Aire (gr)	500.00
Peso del Frasco + Agua con la Muestra Saturada (gr)	952.01
Peso Especifico de Masa Saturada con Superficie seca (Pesss)	2.43

Peso Específico (Pesss)	2.43
--------------------------------	-------------

Absorción	5.81%
------------------	--------------



ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO

Tesis : "EVALUACION DE LAS PROPIEDADES MECANICAS DE MUROS TIPO TAPIAL CON PRESENCIA DE HILADAS DE MORTERO DE CEMENTO - ARENA, UTILIZADAS EN VIVIENDAS ECONOMICAS DE LA A.P.V. AYUDA MUTUA EL AÑO 2017, CUSCO"

Realizado : Br. Ing. Wilfredo Chuqui Paucar
 Br. Ing. Ronald A. Challco Ruelas

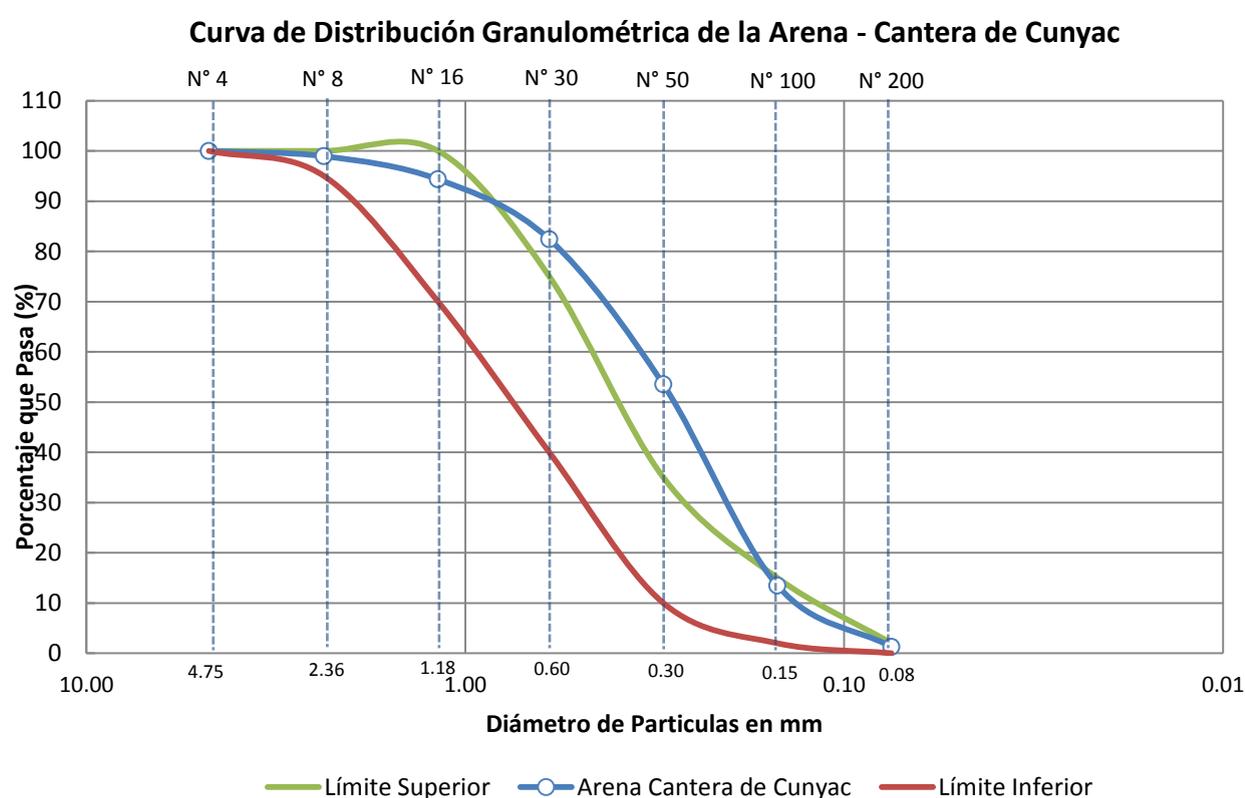
Ubicación :
Localidad: A.P.V. Ayuda Mutua **ENSAYO N°** : 1
Distrito: Cusco **MUESTRA** : A-1
Provincia: Cusco
Dpto: Cusco

Fecha : 05 de Setiembre de 2017

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE LA ARENA DE LA CANTERA DE CUNYAC

Peso de la Muestra (gr.) : 1000.00
 Peso desp. De Tamizado (gr.) : 1000.33
 Error : -0.03%

Tamiz	Diámetro (mm)	Peso Retenido	Peso Retenido Corregido	% Retenido	% Retenido Acumulado	% Que Pasa
3/8	9.525	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00
N° 4	4.750	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00
N° 8	2.360	10.58	10.58	1.06	1.06	98.94
N° 16	1.180	46.00	45.98	4.60	5.66	94.34
N° 30	0.600	119.43	119.39	11.94	17.60	82.40
N° 50	0.300	289.08	288.98	28.90	46.49	53.51
N° 100	0.150	400.23	400.10	40.01	86.50	13.50
N° 200	0.075	122.24	122.20	12.22	98.72	1.28
Cazuela	0.000	12.77	12.77	1.28	100.00	0.00
TOTAL		1000.33	1000.00	100.00		





ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO

Tesis : "EVALUACION DE LAS PROPIEDADES MECANICAS DE MUROS TIPO TAPIAL CON PRESENCIA DE HILADAS DE MORTERO DE CEMENTO - ARENA, UTILIZADAS EN VIVIENDAS ECONOMICAS DE LA A.P.V. AYUDA MUTUA EL AÑO 2017, CUSCO"

Realizado : Br. Ing. Wilfredo Chuqui Paucar
 Br. Ing. Ronald A. Challco Ruelas

Ubicación :
Localidad: A.P.V. Ayuda Mutua **ENSAYO N°** : 1
Distrito: Cusco **MUESTRA** : C-1
Provincia: Cusco
Dpto: Cusco

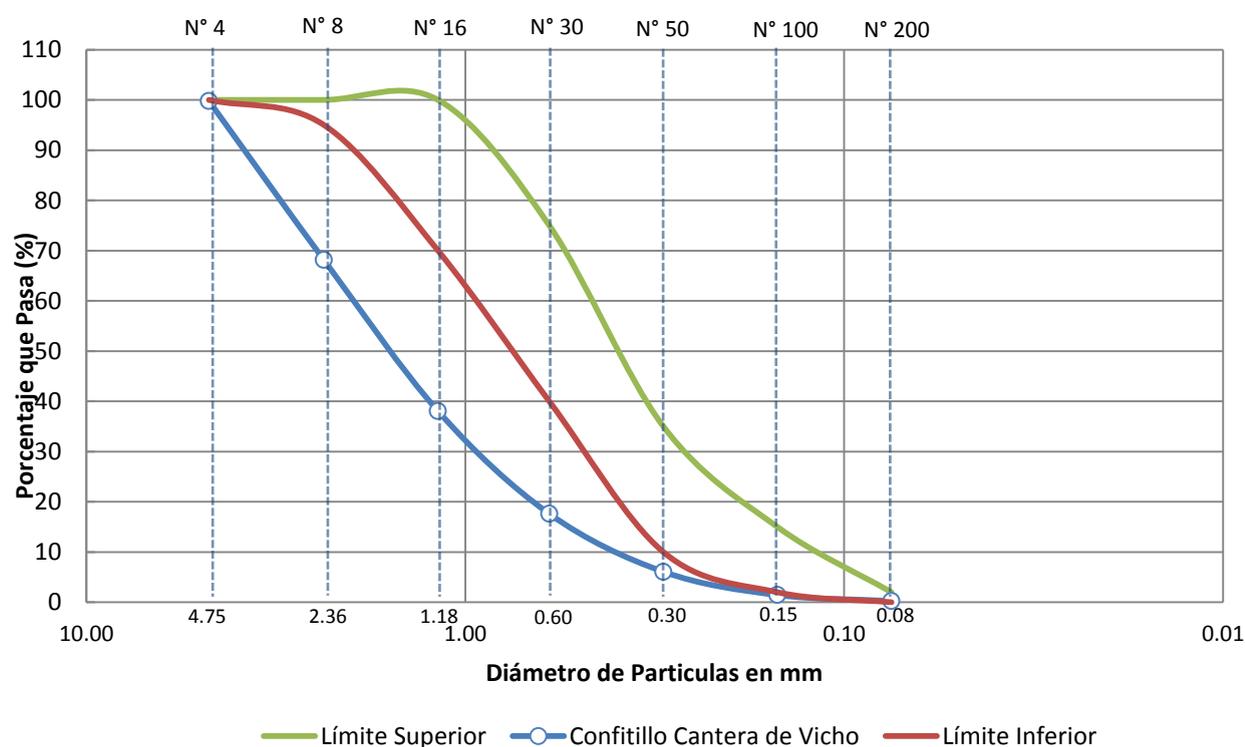
Fecha : 07 de Setiembre de 2017

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DEL CONFITILLO DE LA CANTERA DE VICHO

Peso de la Muestra (gr.) : 1000.00
 Peso desp. De Tamizado (gr.) : 1000.27
 Error : -0.03%

Tamiz	Diámetro (mm)	Peso Retenido	Peso Retenido Corregido	% Retenido	% Retenido Acumulado	% Que Pasa
3/8	9.525	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00
N° 4	4.750	2.17	2.17	0.22	0.22	99.78
N° 8	2.360	316.62	316.53	31.65	31.87	68.13
N° 16	1.180	300.80	300.72	30.07	61.94	38.06
N° 30	0.600	204.52	204.46	20.45	82.39	17.61
N° 50	0.300	115.34	115.31	11.53	93.92	6.08
N° 100	0.150	46.40	46.39	4.64	98.56	1.44
N° 200	0.075	11.86	11.86	1.19	99.74	0.26
Cazuela	0.000	2.56	2.56	0.26	100.00	0.00
TOTAL		1000.27	1000.00	100.00		

Curva de Distribución Granulométrica del Confitillo - Cantera de Vicho





ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO

Tesis : "EVALUACION DE LAS PROPIEDADES MECANICAS DE MUROS TIPO TAPIAL CON PRESENCIA DE HILADAS DE MORTERO DE CEMENTO - ARENA, UTILIZADAS EN VIVIENDAS ECONOMICAS DE LA A.P.V. AYUDA MUTUA EL AÑO 2017, CUSCO"

Realizado : Br. Ing. Wilfredo Chuqui Paucar
 Br. Ing. Ronald A. Challco Ruelas

Ubicación :

Localidad: A.P.V. Ayuda Mutua	ENSAYO N° :	1
Distrito: Cusco	MUESTRA :	AC-1
Provincia: Cusco	Arena-Cunyac	45%
Dpto: Cusco	Confitillo-Bicho	55%

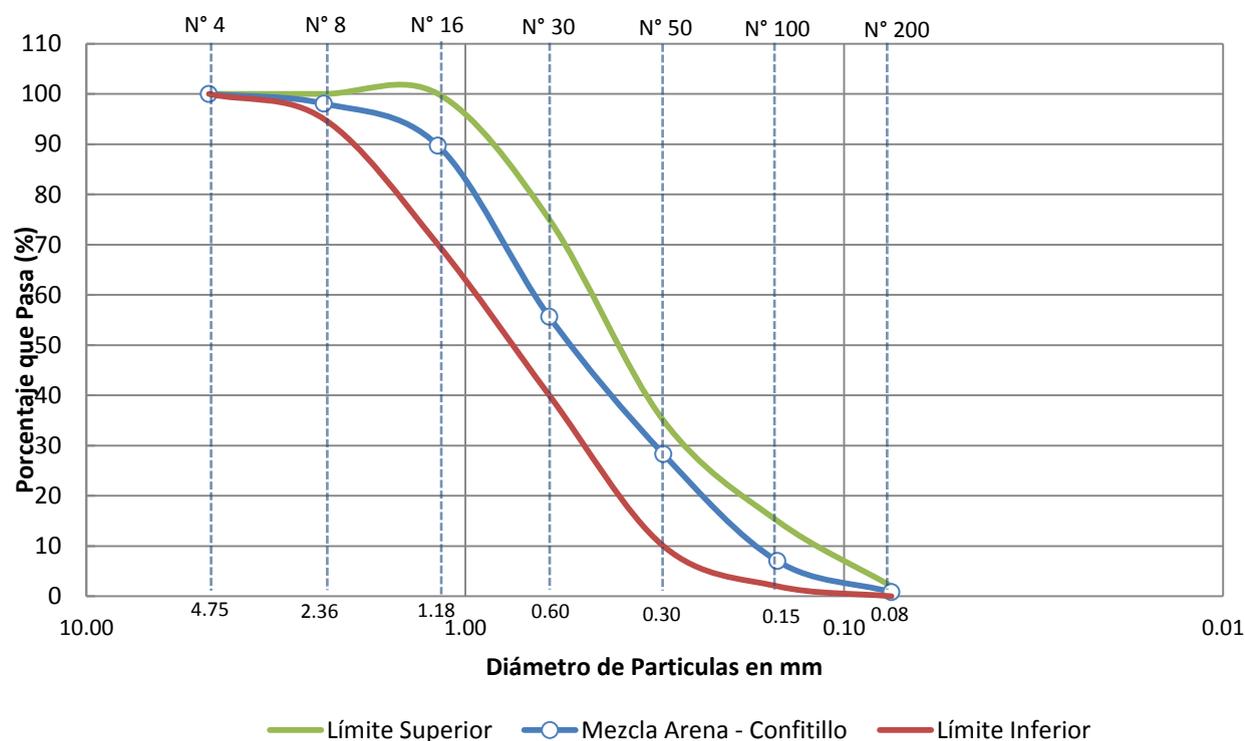
Fecha : 08 de Setiembre de 2017

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE LA MEZCLA DE ARENA - CONFITILLO

Peso de la Muestra (gr.) : **549.71**
 Peso desp. De Tamizado (gr.) : **549.71**
 Error : **0.00%**

Tamiz	Diámetro (mm)	Peso Retenido	Peso Retenido Corregido	% Retenido	% Retenido Acumulado	% Que Pasa
3/8	9.525	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00
N° 4	4.750	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00
N° 8	2.360	10.58	10.58	1.92	1.92	98.08
N° 16	1.180	45.98	45.98	8.37	10.29	89.71
N° 30	0.600	187.45	187.45	34.10	44.39	55.61
N° 50	0.300	150.04	150.04	27.30	71.68	28.32
N° 100	0.150	117.13	117.13	21.31	92.99	7.01
N° 200	0.075	33.93	33.93	6.17	99.16	0.84
Cazuela	0.000	4.60	4.60	0.84	100.00	0.00
TOTAL		549.71	549.71	100.00		

Curva de Distribución Granulométrica de la Mezcla de Arena - Confitillo



MEZCLA SUELO – AGREGADO



CONTENIDO DE HUMEDAD

Tesis : "EVALUACION DE LAS PROPIEDADES MECANICAS DE MUROS TIPO TAPIAL CON PRESENCIA DE HILADAS DE MORTERO DE CEMENTO - ARENA, UTILIZADAS EN VIVIENDAS ECONOMICAS DE LA A.P.V. AYUDA MUTUA EL AÑO 2017, CUSCO"

Realizado : Br. Ing. Wilfredo Chuqui Paucar
Br. Ing. Ronald A. Challco Ruelas

Ubicación :
Localidad: A.P.V. Ayuda Mutua **ENSAYO N° :** 1
Distrito: Cusco **MUESTRA :** M-1
Provincia: Cusco **MATERIAL :** Mezcla Suelo-Agregado
Dpto: Cusco

Fecha : 27 de Noviembre de 2017

Contenido de Humedad de la Mezcla de Suelo - Agregado

Cápsula Nro.		H1	H2
Peso Cápsula	(gr)	59.28	57.33
Peso de Cápsula+Suelo Humedo	(gr)	204.97	190.79
Peso de Cápsula+Suelo Seco	(gr)	200.76	187.17
Peso del Suelo Seco	(gr)	141.48	129.84
Peso de Agua	(gr)	4.21	3.62
Contenido de Humedad	%	2.98%	2.79%

Contenido de Agua Promedio = 2.88%



LÍMITES DE CONSISTENCIA

Tesis : "EVALUACION DE LAS PROPIEDADES MECANICAS DE MUROS TIPO TAPIAL CON PRESENCIA DE HILADAS DE MORTERO DE CEMENTO - ARENA, UTILIZADAS EN VIVIENDAS ECONOMICAS DE LA A.P.V. AYUDA MUTUA EL AÑO 2017, CUSCO"

Realizado : Br. Ing. Wilfredo Chuqui Paucar
 Br. Ing. Ronald A. Challco Ruelas

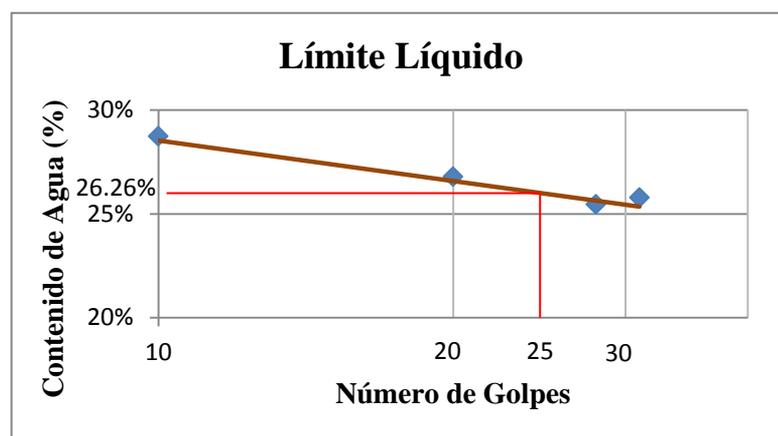
Ubicación :

Localidad: A.P.V. Ayuda Mutua **ENSAYO N°** : 1
Distrito: Cusco **MUESTRA** : M-1
Provincia: Cusco **MATERIAL** : Mezcla Suelo-Agregado
Dpto: Cusco

Fecha : 21 de Setiembre de 2017

Límite Líquido

Cápsula N°		L1	L2	L3	L4
Peso Cápsula + Suelo Húmedo	(gr)	79.58	76.12	90.02	80.20
Peso Cápsula + Suelo seco	(gr)	75.18	72.53	83.44	74.85
Peso de Cápsula	(gr)	58.11	58.42	58.86	56.22
Peso de Agua	(gr)	4.40	3.59	6.58	5.35
Número de Golpes		31	28	20	10
Contenido de Humedad	(w)	25.78%	25.44%	26.77%	28.72%



Límite Plástico

Cápsula N°		P1	P2	P3
Peso Cápsula + Suelo Húmedo	(gr)	66.63	73.83	67.02
Peso Cápsula + Suelo seco	(gr)	65.56	72.00	65.96
Peso de Cápsula	(gr)	59.69	62.08	60.18
Peso de Agua	(gr)	1.07	1.83	1.06
Contenido de Humedad	(w)	18.23%	18.45%	18.34%

LL	=	26.26%
LP	=	18.34%
IP	=	7.92%



ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO

Tesis : "EVALUACION DE LAS PROPIEDADES MECANICAS DE MUROS TIPO TAPIAL CON PRESENCIA DE HILADAS DE MORTERO DE CEMENTO - ARENA, UTILIZADAS EN VIVIENDAS ECONOMICAS DE LA A.P.V. AYUDA MUTUA EL AÑO 2017, CUSCO"

Realizado : Br. Ing. Wilfredo Chuqui Paucar
 Br. Ing. Ronald A. Challco Ruelas

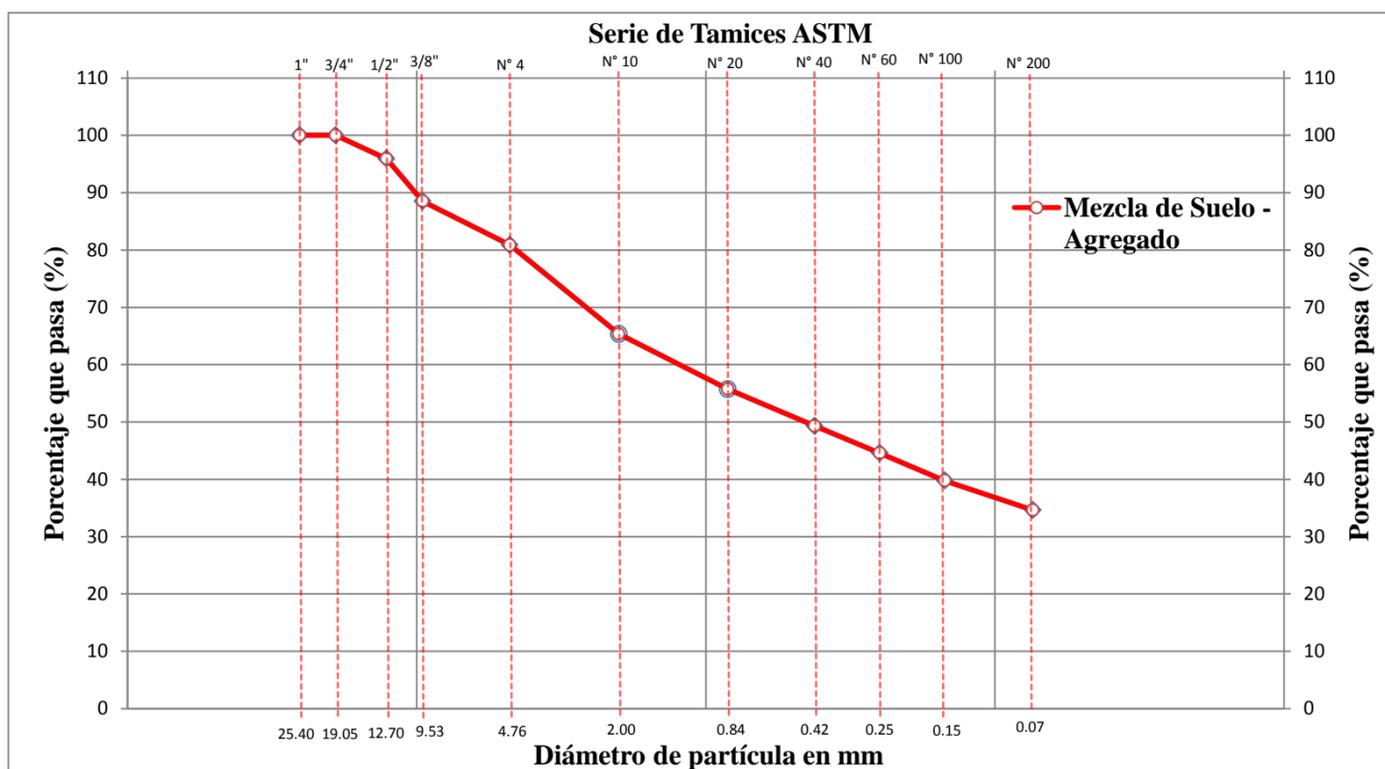
Ubicación :
Localidad: A.P.V. Ayuda Mutua **ENSAYO N°** : 1
Distrito: Cusco **MUESTRA** : M-1
Provincia: Cusco **MATERIAL** : Mezcla Suelo-Agregado
Dpto: Cusco

Fecha : 21 y 22 de Setiembre de 2017

Peso Recipiente : **218.91**
 Peso de la Muestra : **1000.00**
 Peso Desp. De Lavar + Recipiente : **876.98**
 Peso Desp. De Lavar : **658.07**
 % de Error en Peso : **0.01%**

Tamiz	Diámetro (mm)	Peso Retenido	Peso Corregido	% Retenido	% Retenido Acumulado	% Pasa
1	25.400	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00
3/4	19.050	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00
1/2	12.700	40.79	40.79	4.08	4.08	95.92
3/8	9.525	74.24	74.25	7.42	11.50	88.50
4	4.760	76.28	76.29	7.63	19.13	80.87
10	2.000	155.14	155.15	15.52	34.65	65.35
20	0.840	96.09	96.10	9.61	44.26	55.74
40	0.420	64.29	64.29	6.43	50.69	49.31
60	0.250	47.48	47.48	4.75	55.43	44.57
100	0.149	47.95	47.95	4.80	60.23	39.77
200	0.074	51.45	51.45	5.15	65.37	34.63
Cazuela	0.000	4.32	4.32	0.43	65.81	34.19
Lavado	0.000	341.93	341.93	34.19	100.00	0.00
Total fracción retenida en lavado		658.01	658.07	65.81		

Curva de Distribución Granulométrica de la Mezcla de Suelo - Agregado



D10 = ---- **Cu** = ---- % de Grava = 19.13%
D30 = ---- **Cc** = ---- % de Arena = 46.67%
D60 = 1.35 % de Finos = 34.19%



ENSAYO DE COMPACTACION

Tesis : "EVALUACION DE LAS PROPIEDADES MECANICAS DE MUROS TIPO TAPIAL CON PRESENCIA DE HILADAS DE MORTERO DE CEMENTO - ARENA, UTILIZADAS EN VIVIENDAS ECONOMICAS DE LA A.P.V. AYUDA MUTUA EL AÑO 2017, CUSCO"

Realizado : Br. Ing. Wilfredo Chuqui Paucar
 Br. Ing. Ronald A. Challco Ruelas

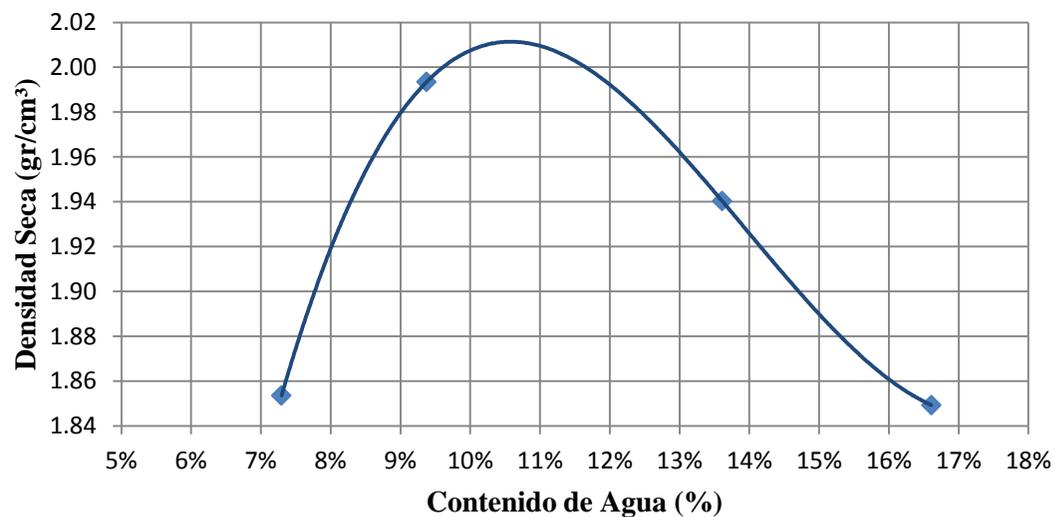
Ubicación :
Localidad: A.P.V. Ayuda Mutua **ENSAYO N°** : 1
Distrito: Cusco **MUESTRA** : M-1
Provincia: Cusco **MATERIAL** : Mezcla Suelo-Agregado
Dpto: Cusco

Fecha : 19 y 20 de Setiembre de 2017

Peso Pisón (gr)	: 4.54	Diámetro Molde (cm)	15.20
Altura Caída (cm)	: 45.72	Altura Molde (cm)	11.50
N° de Capas	: 03	Peso del Molde (gr)	6500.00
N° de Golpes por Capa	: 25	Volumen Molde (cm³)	2086.77

Peso Suelo Húmedo + Molde (gr)	10650.00	11050.00	11100.00	11000.00				
Peso suelo Húmedo (gr)	4150.00	4550.00	4600.00	4500.00				
Densidad Suelo Húmedo (gr/cm³)	1.99	2.18	2.20	2.16				
Cápsula N°	C-1	C-2	C-3	C-4	C-5	C-6	C-7	C-8
Cápsula + Suelo Húmedo (gr)	138.93	143.62	143.54	135.28	157.97	157.9	154.13	170.09
Cápsula + Suelo Seco (gr)	133.97	137.47	136.73	128.25	146.07	146.39	139.94	156.26
Peso del Agua (gr)	4.96	6.15	6.81	7.03	11.90	11.51	14.19	13.83
Peso de Cápsula (gr)	59.38	60.03	59.04	57.86	58.31	62.17	65.74	58.16
Peso del Suelo Seco (gr)	74.59	77.44	77.69	70.39	87.76	84.22	74.20	98.10
Contenido de Agua (\bar{w})	6.65%	7.94%	8.77%	9.99%	13.56%	13.67%	19.12%	14.10%
	7.30%	9.38%	13.61%	16.61%				
Densidad Seca (gr/cm³)	1.85	1.99	1.94	1.85				

Gráfico de Compactación de la Mezcla de Suelo-Agregado



Densidad Seca Máxima (gr/cm³)	2.011
Contenido de Agua Óptimo (\bar{w})	10.60%

ANEXO 2: REGISTRO DEL CONTROL DE SECADO



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES



CONTROL DE SECADO - PILAS

Tesis : "EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE MUROS TIPO TAPIAL CON PRESENCIA DE HILADAS DE MORTERO DE CEMENTO - ARENA, UTILIZADAS EN VIVIENDAS ECONÓMICAS DE LA A.P.V. AYUDA MUTUA EL AÑO 2017, CUSCO"

Denominación : Tapial - Pila Típica (PT)

Descripción : Pilas de 30x40x15 cm aprox., compactados en capas de 80 mm con un compactador neumático.

FECHA Y HORA DEL CONTROL DE PESO

Especimen	NOVIEMBRE				DICIEMBRE											
	Martes, 28		Miércoles, 29		Lunes, 04		Jueves, 07		Martes, 12		Viernes, 15		Miércoles, 20		Martes, 26	
	Hora	Peso	Hora	Peso	Hora	Peso	Hora	Peso	Hora	Peso	Hora	Peso	Hora	Peso	Hora	Peso
PT-1	12:00	37.86			11:00	36.06	10:00	35.812	13:00	35.56	11:00	35.412	11:00	35.362	09:00	35.36
PT-2	13:00	39.76			11:00	37.91	10:00	37.61	13:00	37.26	11:00	37.162	11:00	37.062	09:00	37.06
PT-3	14:00	39.61			11:00	37.86	10:00	37.54	13:00	37.06	11:00	36.812	11:00	36.762	09:00	36.76
PT-4	15:00	38.21			11:00	36.46	10:00	36.26	13:00	35.96	11:00	35.812	11:00	35.712	09:00	35.71
PT-5	16:00	38.01			11:00	36.31	10:00	36.11	13:00	35.76	11:00	35.612	11:00	35.512	09:00	35.51
PT-6	17:00	38.11			11:00	36.31	10:00	36.06	13:00	35.71	11:00	35.562	11:00	35.412	09:00	35.41
PT-7	18:00	38.66			11:00	36.81	10:00	36.54	13:00	36.16	11:00	36.012	11:00	35.962	09:00	35.96
PT-8	19:00	38.41			11:00	36.61	10:00	36.31	13:00	36.01	11:00	35.962	11:00	35.812	09:00	35.81
PT-9			08:00	38.21	11:00	36.61	10:00	36.31	13:00	36.01	11:00	35.912	11:00	35.762	09:00	35.712
PT-10			09:00	38.91	11:00	37.26	10:00	36.96	13:00	36.61	11:00	36.462	11:00	36.312	09:00	36.262
PT-11			10:00	40.21	11:00	38.61	10:00	38.26	13:00	37.93	11:00	37.762	11:00	37.662	09:00	37.562
PT-12			11:00	40.36	11:00	38.71	10:00	38.36	13:00	38.01	11:00	37.912	11:00	37.762	09:00	37.712

TABLA RESUMEN DEL CONTROL DE SECADO

Especimen	PT-1		PT-2		PT-3		PT-4		PT-5		PT-6		PT-7		PT-8		PT-9		PT-10		PT-11		PT-12		Tiempo Promedio (Horas)	Peso Promedio (Kg)
	Fechas del Control de Peso	Tiempo Horas	Peso (Kg)																							
Peso Inicial	0.00	37.86	0.00	39.76	0.00	39.61	0.00	38.21	0.00	38.01	0.00	38.11	0.00	38.66	0.00	38.41	0.00	38.21	0.00	38.91	0.00	40.21	0.00	40.36	0.00	38.86
04/12/2017	143	36.06	142	37.91	141	37.86	140	36.46	139	36.31	138	36.31	137	36.81	136	36.61	123	36.61	122	37.26	121	38.61	120	38.71	133.50	37.13
07/12/2017	214	35.81	213	37.61	212	37.54	211	36.26	210	36.11	209	36.06	208	36.54	207	36.31	194	36.31	193	36.96	192	38.26	191	38.36	204.50	36.84
12/12/2017	337	35.56	336	37.26	335	37.06	334	35.96	333	35.76	332	35.71	331	36.16	330	36.01	317	36.01	316	36.61	315	37.93	314	38.01	327.50	36.50
15/12/2017	407	35.41	406	37.16	405	36.81	404	35.81	403	35.61	402	35.56	401	36.01	400	35.96	387	35.91	386	36.46	385	37.76	384	37.91	397.50	36.37
20/12/2017	527	35.36	526	37.06	525	36.76	524	35.71	523	35.51	522	35.41	521	35.96	520	35.81	507	35.76	506	36.31	505	37.66	504	37.76	517.50	36.26
26/12/2017	669	35.36	668	37.06	667	36.76	666	35.71	665	35.51	664	35.41	663	35.96	662	35.81	649	35.71	648	36.26	647	37.56	646	37.71	659.50	36.24



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES



CONTROL DE SECADO - PILAS

Tesis : "EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE MUROS TIPO TAPIAL CON PRESENCIA DE HILADAS DE MORTERO DE CEMENTO - ARENA, UTILIZADAS EN VIVIENDAS ECONÓMICAS DE LA A.P.V. AYUDA MUTUA EL AÑO 2017, CUSCO"

Denominación : Tapial - Pila Reforzado con Hiladas de Mortero de Cemento- Arena con una Dosificación en Volumen 1:4 (PR)

Descripción : Pilas de 30x40x15 cm aprox., compactados en capas de 80 mm con un compactador neumático.

FECHA Y HORA DEL CONTROL DE PESO

Especimen	DICIEMBRE										ENERO									
	Martes, 05		Miércoles, 06		Jueves, 07		Martes, 12		Viernes, 15		Miércoles, 20		Martes, 26		Jueves, 28		Miércoles, 03		Lunes, 14	
	Hora	Peso	Hora	Peso	Hora	Peso	Hora	Peso	Hora	Peso	Hora	Peso	Hora	Peso	Hora	Peso	Hora	Peso	Hora	Peso
PR-1	13:00	39.31			10:00	38.51	13:00	37.26	11:00	37.01	11:00	36.86	09:00	36.71	10:00	36.71	09:00	36.66	09:00	50.67
PR-2	14:00	42.41			10:00	41.71	13:00	40.16	11:00	39.96	11:00	39.76	09:00	39.61	10:00	39.61	09:00	39.56	09:00	49.97
PR-3	16:00	41.96			10:00	41.26	13:00	39.71	11:00	39.46	11:00	39.26	09:00	39.16	10:00	39.11	09:00	39.06	09:00	50.32
PR-4	17:00	40.46			10:00	39.86	13:00	38.41	11:00	38.21	11:00	37.96	09:00	37.81	10:00	37.81	09:00	37.76	09:00	49.72
PR-5	18:00	40.61			10:00	40.06	13:00	38.56	11:00	38.36	11:00	38.16	09:00	38.01	10:00	38.01	09:00	37.91	09:00	49.42
PR-6			10:00	40.41	10:00	39.91	13:00	38.46	11:00	38.21	11:00	38.01	09:00	37.86	10:00	37.81	09:00	37.81	09:00	49.62
PR-7			11:00	40.96	10:00	40.56	13:00	39.11	11:00	38.81	11:00	38.61	09:00	38.46	10:00	38.46	09:00	38.36	09:00	50.22
PR-8			12:00	40.31	10:00	39.91	13:00	38.41	11:00	38.16	11:00	37.91	09:00	37.76	10:00	37.71	09:00	37.71	09:00	48.72
PR-9			13:00	41.21	10:00	40.11	13:00	38.66	11:00	38.36	11:00	38.16	09:00	37.96	10:00	37.96	09:00	37.91	09:00	50.17
PR-10			15:00	41.11	10:00	40.86	13:00	39.31	11:00	39.06	11:00	38.86	09:00	38.71	10:00	38.66	09:00	38.61	09:00	49.77
PR-11			16:00	40.71	10:00	40.46	13:00	38.91	11:00	38.61	11:00	38.41	09:00	38.31	10:00	38.26	09:00	38.21	09:00	50.17
PR-12			17:00	40.81	10:00	40.61	13:00	39.11	11:00	38.86	11:00	38.66	09:00	38.56	10:00	38.51	09:00	38.46	09:00	50.42

TABLA RESUMEN DEL CONTROL DE SECADO

Especimen	PR-1		PR-2		PR-3		PR-4		PR-5		PR-6		PR-7		PR-8		PR-9		PR-10		PR-11		PR-12		Tiempo Promedio (Horas)	Peso Promedio (Kg)
Fechas del Control de Peso	Tiempo Horas	Peso (Kg)																								
Peso Inicial	0.00	39.31	0.00	42.41	0.00	41.96	0.00	40.46	0.00	40.61	0.00	40.41	0.00	40.96	0.00	40.31	0.00	41.21	0.00	41.11	0.00	40.71	0.00	40.81	0.00	40.86
07/12/2017	45	38.51	44	41.71	42	41.26	41	39.86	40	40.06	24	39.91	23	40.56	22	39.91	21	40.11	19	40.86	18	40.46	17	40.61	29.67	40.32
12/12/2017	168	37.26	167	40.16	165	39.71	164	38.41	163	38.56	147	38.46	146	39.11	145	38.41	144	38.66	142	39.31	141	38.91	140	39.11	152.67	38.84
15/12/2017	238	37.01	237	39.96	235	39.46	234	38.21	233	38.36	217	38.21	216	38.81	215	38.16	214	38.36	212	39.06	211	38.61	210	38.86	222.67	38.59
20/12/2017	358	36.86	357	39.76	355	39.26	354	37.96	353	38.16	313	38.01	312	38.61	311	37.91	310	38.16	308	38.86	307	38.41	306	38.66	328.67	38.39
26/12/2017	500	36.71	499	39.61	497	39.16	496	37.81	495	38.01	479	37.86	478	38.46	477	37.76	476	37.96	474	38.71	473	38.31	472	38.56	484.67	38.24
28/12/2017	549	36.71	548	39.61	546	39.11	545	37.81	544	38.01	528	37.81	527	38.46	526	37.71	525	37.96	523	38.66	522	38.26	521	38.51	533.67	38.22
03/01/2018	692	36.66	691	39.56	689	39.06	688	37.76	687	37.91	671	37.81	670	38.36	669	37.71	668	37.91	666	38.61	665	38.21	664	38.46	676.67	38.17



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES



CONTROL DE SECADO - MURETES

Tesis : "EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE MUROS TIPO TAPIAL CON PRESENCIA DE HILADAS DE MORTERO DE CEMENTO - ARENA, UTILIZADAS EN VIVIENDAS ECONÓMICAS DE LA A.P.V. AYUDA MUTUA EL AÑO 2017, CUSCO"

Denominación : Tapial - Murete Típico (MT)

Descripción : Muretes de 40x40x15 cm aprox., compactados en capas de 80 mm con un compactador neumático.

FECHA Y HORA DEL CONTROL DE PESO

Especimen	ABRIL												MAYO											
	Miércoles, 04		Jueves, 05		Viernes, 06		Lunes, 09		Jueves, 12		Martes, 17		Viernes, 20		Miércoles, 25		Martes, 01		Jueves, 03		Lunes, 07		Miércoles, 09	
	Hora	Peso	Hora	Peso	Hora	Peso	Hora	Peso	Hora	Peso	Hora	Peso	Hora	Peso	Hora	Peso	Hora	Peso	Hora	Peso	Hora	Peso	Hora	Peso
MT-1	18:00	52.62					11:00	50.52	10:00	49.82	13:00	49.22	11:00	49.068	11:00	48.918	09:00	48.818	10:00	48.768	09:00	48.718	09:00	48.718
MT-2			12:00	54.47			11:00	52.32	10:00	51.52	13:00	50.97	11:00	50.618	11:00	50.468	09:00	50.32	10:00	50.268	09:00	50.218	09:00	50.218
MT-3					10:00	53.72	11:00	52.02	10:00	50.82	13:00	49.87	11:00	49.618	11:00	49.418	09:00	49.32	10:00	49.268	09:00	49.168	09:00	49.168
MT-4					11:00	53.67	11:00	51.92	10:00	50.82	13:00	50.02	11:00	49.618	11:00	49.418	09:00	49.27	10:00	49.218	09:00	49.168	09:00	49.168
MT-5					12:00	53.87	11:00	52.22	10:00	50.92	13:00	50.12	11:00	49.718	11:00	49.518	09:00	49.37	10:00	49.318	09:00	49.268	09:00	49.268
MT-6					13:00	53.22	11:00	51.57	10:00	51.32	13:00	50.17	11:00	49.368	11:00	49.168	09:00	48.82	10:00	48.77	09:00	48.72	09:00	51.72
MT-7					14:00	54.52	11:00	53.02	10:00	52.57	13:00	51.92	11:00	51.618	11:00	50.868	09:00	50.67	10:00	50.618	09:00	50.618	09:00	50.618
MT-8					15:00	54.27	11:00	52.72	10:00	51.57	13:00	50.62	11:00	50.318	11:00	50.168	09:00	49.97	10:00	49.918	09:00	49.868	09:00	49.868
MT-9					16:00	53.67	11:00	52.12	10:00	51.07	13:00	50.22	11:00	49.618	11:00	49.368	09:00	49.17	10:00	49.118	09:00	49.118	09:00	49.118
MT-10					17:00	53.32	11:00	51.82	10:00	50.52	13:00	49.67	11:00	49.218	11:00	49.018	09:00	48.82	10:00	48.768	09:00	48.668	09:00	48.668
MT-11					18:00	54.07	11:00	52.62	10:00	51.47	13:00	50.52	11:00	49.918	11:00	49.668	09:00	49.47	10:00	49.418	09:00	49.318	09:00	49.318
MT-12					19:00	53.57	11:00	52.12	10:00	51.02	13:00	50.27	11:00	49.818	11:00	49.568	09:00	49.418	10:00	49.368	09:00	49.318	09:00	49.318

TABLA RESUMEN DEL CONTROL DE SECADO

Especimen	MT-1		MT-2		MT-3		MT-4		MT-5		MT-6		MT-7		MT-8		MT-9		MT-10		MT-11		MT-12		Tiempo Promedio (Horas)	Peso Promedio (Kg)
	Tiempo Horas	Peso (Kg)																								
Peso Inicial	0.00	52.62	0.00	54.47	0.00	53.72	0.00	53.67	0.00	53.87	0.00	53.22	0.00	54.52	0.00	54.27	0.00	53.67	0.00	53.32	0.00	54.07	0.00	53.57	0.00	53.75
09/04/2018	113	50.52	95	52.32	73	52.02	72	51.92	71	52.22	70	51.57	69	53.02	68	52.72	67	52.12	66	51.82	65	52.62	64	52.12	74.42	52.08
12/04/2018	184	49.82	166	51.52	144	50.82	143	50.82	142	50.92	141	50.57	140	52.57	139	51.57	138	51.07	137	50.52	136	51.47	135	51.02	145.42	51.06
17/04/2018	307	49.22	289	50.97	261	49.87	260	50.02	259	50.12	258	49.62	257	51.92	256	50.62	255	50.22	254	49.67	253	50.52	252	50.27	263.42	50.25
20/04/2018	377	49.07	359	50.62	337	49.62	336	49.62	335	49.72	334	49.37	333	51.62	332	50.32	331	49.62	330	49.22	329	49.92	328	49.82	338.42	49.88
25/04/2018	497	48.92	479	50.47	457	49.42	456	49.42	455	49.52	454	49.17	453	50.87	452	50.17	451	49.37	450	49.02	449	49.67	448	49.57	458.42	49.63
01/05/2018	639	48.82	621	50.32	599	49.32	598	49.27	597	49.37	596	48.82	595	50.67	594	49.97	593	49.17	592	48.82	591	49.47	590	49.42	600.42	49.45
03/05/2018	688	48.77	670	50.27	648	49.27	647	49.22	646	49.32	645	48.77	644	50.62	643	49.92	642	49.12	641	48.77	640	49.42	639	49.37	649.42	49.40
07/05/2018	783	48.72	765	50.22	743	49.17	742	49.17	741	49.27	740	48.72	739	50.62	738	49.87	737	49.12	736	48.67	735	49.32	734	49.32	744.42	49.35
09/05/2018	831	48.72	813	50.22	791	49.17	790	49.17	789	49.27	788	48.72	787	50.62	786	49.87	785	49.12	784	48.67	783	49.32	782	49.32	792.42	49.35



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES



CONTROL DE SECADO - MURETES

Tesis : "EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE MUROS TIPO TAPIAL CON PRESENCIA DE HILADAS DE MORTERO DE CEMENTO - ARENA, UTILIZADAS EN VIVIENDAS ECONÓMICAS DE LA A.P.V. AYUDA MUTUA EL AÑO 2017, CUSCO"

Denominación : Tapial - Murete Reforzado con Hiladas de Mortero de Cemento- Arena con una Dosificación en Volumen 1:4 (MR)

Descripción : Muretes de 40x40x15 cm aprox., compactados en capas de 80 mm con un compactador neumático.

FECHA Y HORA DEL CONTROL DE PESO

Espécimen	ABRIL										MAYO									
	Martes, 10		Miércoles, 11		Jueves, 12		Martes, 17		Viernes, 20		Miércoles, 25		Martes, 01		Jueves, 03		Miércoles, 09		Lunes, 14	
	Hora	Peso	Hora	Peso	Hora	Peso	Hora	Peso	Hora	Peso	Hora	Peso	Hora	Peso	Hora	Peso	Hora	Peso	Hora	Peso
MR-1	14:00	54.22			10:00	53.02	13:00	52.02	11:00	51.27	11:00	51.02	09:00	50.77	10:00	50.77	09:00	50.67	09:00	50.67
MR-2	16:00	53.37			10:00	52.72	13:00	51.07	11:00	50.52	11:00	50.27	09:00	50.07	10:00	50.07	09:00	49.97	09:00	49.97
MR-3	17:00	54.67			10:00	53.12	13:00	51.82	11:00	50.97	11:00	50.67	09:00	50.37	10:00	50.37	09:00	50.32	09:00	50.32
MR-4	18:00	53.22			10:00	52.47	13:00	50.92	11:00	50.27	11:00	50.07	09:00	49.77	10:00	49.77	09:00	49.72	09:00	49.72
MR-5	19:00	52.67			10:00	52.07	13:00	50.37	11:00	49.97	11:00	49.72	09:00	49.52	10:00	49.47	09:00	49.42	09:00	49.42
MR-6			10:00	53.02	10:00	52.37	13:00	50.57	11:00	50.22	11:00	49.92	09:00	49.72	10:00	49.72	09:00	49.62	09:00	49.62
MR-7			11:00	53.67	10:00	52.92	13:00	51.17	11:00	50.82	11:00	50.57	09:00	50.37	10:00	50.32	09:00	50.22	09:00	50.22
MR-8			12:00	52.07	10:00	51.47	13:00	50.12	11:00	49.82	11:00	49.07	09:00	48.82	10:00	48.82	09:00	48.72	09:00	48.72
MR-9			13:00	54.82	10:00	53.07	13:00	51.12	11:00	50.82	11:00	50.57	09:00	50.32	10:00	50.27	09:00	50.17	09:00	50.17
MR-10			15:00	53.47	10:00	52.77	13:00	50.67	11:00	50.42	11:00	50.12	09:00	49.87	10:00	49.87	09:00	49.77	09:00	49.77
MR-11			16:00	54.17	10:00	53.12	13:00	50.97	11:00	50.77	11:00	50.52	09:00	50.27	10:00	50.27	09:00	50.17	09:00	50.17
MR-12			17:00	54.22	10:00	53.32	13:00	51.22	11:00	51.02	11:00	50.72	09:00	50.57	10:00	50.52	09:00	50.42	09:00	50.42

TABLA RESUMEN DEL CONTROL DE SECADO

Espécimen	MR-1		MR-2		MR-3		MR-4		MR-5		MR-6		MR-7		MR-8		MR-9		MR-10		MR-11		MR-12		Tiempo Promedio (Horas)	Peso Promedio (Kg)	
	Fechas del Control de Peso	Tiempo Horas	Peso (Kg)																								
Peso Inicial		0.00	53.87	0.00	53.37	0.00	54.67	0.00	53.22	0.00	52.67	0.00	53.67	0.00	52.07	0.00	54.82	0.00	53.47	0.00	54.17	0.00	54.22	0.00	53.60		
12/04/2018		44	53.02	42	52.72	41	53.12	40	52.47	39	52.07	24	52.92	22	51.47	21	53.07	19	52.77	18	53.12	17	53.32	29.17	52.70		
17/04/2018		165	52.02	163	51.07	162	51.82	161	50.92	160	50.37	147	50.57	146	51.17	145	50.12	144	50.67	141	50.97	140	51.22	151.33	51.00		
20/04/2018		238	51.27	236	50.52	235	50.97	234	50.27	233	49.97	217	50.22	216	50.82	215	49.82	214	50.42	211	50.77	210	51.02	222.58	50.57		
25/04/2018		358	51.02	356	50.27	355	50.67	354	50.07	353	49.72	313	49.92	312	50.57	311	49.07	310	50.57	308	50.12	307	50.52	306	50.72	328.58	50.27
01/05/2018		500	50.77	498	50.07	497	50.37	496	49.77	495	49.52	479	49.72	478	50.37	477	48.82	476	50.32	474	49.87	473	50.27	472	50.57	484.58	50.04
03/05/2018		549	50.77	547	50.07	546	50.37	545	49.77	544	49.47	528	49.72	527	50.32	526	48.82	525	50.27	523	49.87	522	50.27	521	50.52	533.58	50.02
09/05/2018		692	50.67	690	49.97	689	50.32	688	49.72	687	49.42	671	49.62	670	50.22	669	48.72	668	50.17	666	49.77	665	50.17	664	50.42	676.58	49.93
14/05/2018		812	50.67	814	49.97	809	50.32	808	49.72	807	49.42	791	49.62	790	50.22	789	48.72	788	50.17	786	49.77	785	50.17	784	50.42	796.92	49.93

ANEXO 3: RENDIMIENTOS DE CONSTRUCCIÓN DE MUROS DE TAPIAL



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL



RENDIMIENTOS - MURO DE TAPIAL TÍPICO

PARTIDA	OBSERVADOR:				TOMA DE DATOS N°			
CONSTRUCCIÓN MURO DE TAPIAL	Ronald Augusto Chalco Ruelas				1			
	Fecha:	22/08/2017			HI:	07:00	HF:	16:00
	CUADRILLA:	2	Operario	2	Peón	2	Oficial	
EQUIPO:	1	Compresora	2	Martillo Neumático				
	1	Tractor	1	Andamio				
ACTIVIDAD	Fecha:	21/08/2017			Registro de tiempos (min)			
Prep. de mat. 1 of.+2 peones	HI:	14:07	HF:	17:24	T1:	187		
Armado de encofrado 1 op+1 of.	HI:	14:17	HF:	16:00	T2:	103		
ACTIVIDAD	Fecha:	22/08/2017			Registro de tiempos (min)			
Desencofrado 1 op.+1 of.	HI:	14:09	HF:	15:37	T5:	88		
Transporte de material 2 peones	HI:	07:00	HF:	12:38	T3:	338		
Compactado de material 2 op.+1 of.	HI:	07:15	HF:	12:55	T4:	340		
Dimensiones del muro (m)		L= 11.05		H= 0.80		E= 0.40		
TOTAL MURO DE TAPIAL CONSTRUIDO EN UN JORNAL (m2)							8.84	

PARTIDA	OBSERVADOR:				TOMA DE DATOS N°			
CONSTRUCCIÓN MURO DE TAPIAL	Ronald Augusto Chalco Ruelas				2			
	Fecha:	23/08/2017			HI:	07:00	HF:	16:00
	CUADRILLA:	2	Operario	2	Peón	2	Oficial	
EQUIPO:	1	Compresora	2	Martillo Neumático				
	1	Tractor	1	Andamio				
ACTIVIDAD	Fecha:	22/08/2017			Registro de tiempos (min)			
Prep. de mat. 1 of.+2 peones	HI:	13:00	HF:	15:51	T1:	171		
Armado de encofrado 1 op+1 of.	HI:	14:21	HF:	15:55	T2:	94		
ACTIVIDAD	Fecha:	23/08/2017			Registro de tiempos (min)			
Desencofrado 1 op.+1 of.	HI:	14:10	HF:	15:41	T5:	91		
Transporte de material 2 peones	HI:	07:00	HF:	12:26	T3:	326		
Compactado de material 2 op.+1 of.	HI:	07:17	HF:	12:48	T4:	331		
Dimensiones del muro (m)		L= 11.25		H= 0.80		E= 0.40		
TOTAL MURO DE TAPIAL CONSTRUIDO EN UN JORNAL (m2)							9.00	

PARTIDA	OBSERVADOR:				TOMA DE DATOS N°			
CONSTRUCCIÓN MURO DE TAPIAL	Ronald Augusto Chalco Ruelas				3			
	Fecha:	24/08/2017			HI:	07:00	HF:	16:00
	CUADRILLA:	2	Operario	2	Peón	2	Oficial	
EQUIPO:	1	Compresora	2	Martillo Neumático				
	1	Tractor	1	Andamio				
ACTIVIDAD	Fecha:	23/08/2017			Registro de tiempos (min)			
Prep. de mat. 1 of.+2 peones	HI:	13:00	HF:	16:05	T1:	185		
Armado de encofrado 1 op+1 of.	HI:	14:07	HF:	15:46	T2:	106		
ACTIVIDAD	Fecha:	24/08/2017			Registro de tiempos (min)			
Desencofrado 1 op.+1 of.	HI:	14:12	HF:	15:51	T5:	99		
Transporte de material 2 peones	HI:	07:08	HF:	12:30	T3:	322		
Compactado de material 2 op.+1 of.	HI:	07:23	HF:	13:00	T4:	337		
Dimensiones del muro (m)		L= 10.92		H= 0.80		E= 0.40		
TOTAL MURO DE TAPIAL CONSTRUIDO EN UN JORNAL (m2)							8.74	

RENDIMIENTO PROMEDIO (M2/Día)	8.86
--------------------------------------	-------------

Partida	Rendimiento promedio (HH/M2)		
1. Construcción de muro tapial e=40cm	Operario	Oficial	Peón
1.1 Encofrado y desencofrado	0.365	0.365	0.000
1.2 Compactado de tierra h=80cm	1.265	0.973	1.918



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL



RENDIMIENTOS - MURO DE TAPIAL REFORZADO

PARTIDA	OBSERVADOR:			TOMA DE DATOS N°			
CONSTRUCCIÓN MURO DE TAPIAL	Ronald Augusto Chalco Ruelas			1			
	Fecha:	22/08/2017		HI:	07:00	HF:	16:00
	CUADRILLA:	2	Operario	3	Peón	2	Oficial
	EQUIPO:	1	Compresora	2	Martillo Neumático		
1		Tractor	1	Andamio			
ACTIVIDAD	Fecha:	21/08/2017		Registro de tiempos (min)			
Prep. de mat. 1 of.+2 peones	HI:	14:07	HF:	17:24	T1:	187	
Armado de encofrado 1 op+1 of.	HI:	14:17	HF:	16:00	T2:	103	
ACTIVIDAD	Fecha:	22/08/2017		Registro de tiempos (min)			
Desencofrado 1 op.+1 of.	HI:	14:09	HF:	15:37	T6:	88	
Transporte de material 2 peones	HI:	07:00	HF:	12:38	T3:	338	
Compactado de material 2 op.+1 of.	HI:	07:15	HF:	12:55	T4:	340	
Colocación de hiladas de mortero (C:A, 1:5) 1 peón	HI:	07:26	HF:	12:45	T5:	319	
Dimensiones del muro (m)			L=	11.05	H=	0.80	E= 0.40
TOTAL MURO DE TAPIAL CONSTRUIDO EN UN JORNAL (m2)							8.84

PARTIDA	OBSERVADOR:			TOMA DE DATOS N°			
CONSTRUCCIÓN MURO DE TAPIAL	Ronald Augusto Chalco Ruelas			2			
	Fecha:	23/08/2017		HI:	07:00	HF:	16:00
	CUADRILLA:	2	Operario	3	Peón	2	Oficial
	EQUIPO:	1	Compresora	2	Martillo Neumático		
1		Tractor	1	Andamio			
ACTIVIDAD	Fecha:	22/08/2017		Registro de tiempos (min)			
Prep. de mat. 1 of.+2 peones	HI:	13:00	HF:	15:51	T1:	171	
Armado de encofrado 1 op+1 of.	HI:	14:21	HF:	15:55	T2:	94	
ACTIVIDAD	Fecha:	23/08/2017		Registro de tiempos (min)			
Desencofrado 1 op.+1 of.	HI:	14:10	HF:	15:41	T6:	91	
Transporte de material 2 peones	HI:	07:00	HF:	12:26	T3:	326	
Compactado de material 2 op.+1 of.	HI:	07:17	HF:	12:48	T4:	331	
Colocación de hiladas de mortero (C:A, 1:5) 1 peón	HI:	07:30	HF:	12:36	T5:	306	
Dimensiones del muro (m)			L=	11.25	H=	0.80	E= 0.40
TOTAL MURO DE TAPIAL CONSTRUIDO EN UN JORNAL (m2)							9.00

PARTIDA	OBSERVADOR:			TOMA DE DATOS N°			
CONSTRUCCIÓN MURO DE TAPIAL	Ronald Augusto Chalco Ruelas			3			
	Fecha:	24/08/2017		HI:	07:00	HF:	16:00
	CUADRILLA:	2	Operario	3	Peón	2	Oficial
	EQUIPO:	1	Compresora	2	Martillo Neumático		
1		Tractor	1	Andamio			
ACTIVIDAD	Fecha:	23/08/2017		Registro de tiempos (min)			
Prep. de mat. 1 of.+2 peones	HI:	13:00	HF:	16:05	T1:	185	
Armado de encofrado 1 op+1 of.	HI:	14:07	HF:	15:46	T2:	106	
ACTIVIDAD	Fecha:	24/08/2017		Registro de tiempos (min)			
Desencofrado 1 op.+1 of.	HI:	14:12	HF:	15:51	T6:	99	
Transporte de material 2 peones	HI:	07:08	HF:	12:30	T3:	322	
Compactado de material 2 op.+1 of.	HI:	07:23	HF:	13:00	T4:	337	
Colocación de hiladas de mortero (C:A, 1:5) 1 peón	HI:	07:33	HF:	12:48	T5:	315	
Dimensiones del muro (m)			L=	10.92	H=	0.80	E= 0.40
TOTAL MURO DE TAPIAL CONSTRUIDO EN UN JORNAL (m2)							8.74

RENDIMIENTO PROMEDIO (M2/Día)	8.86
--------------------------------------	-------------

Partida	Rendimiento promedio (HH/M2)		
1. Construcción de muro tapial e=40cm	Operario	Oficial	Peón
1.1 Encofrado y desencofrado	0.365	0.365	0.000
1.2 Compactado de tierra h=80cm	1.265	0.973	2.508

ANEXO 4: ANÁLISIS DE COSTOS UNITARIOS EN TAPIAL Y ADOBE



APORTE UNITARIO DE MATERIALES PARA EL TAPIAL TÍPICO

1. Dosificación en volumen

Material	Dosificación en volumen
Tierra	2
Confitillo	2/3
Piedra chancada de 1/2"	1/3
Piedra chancada de 3/4"	1/2
Agua	5 litros por carretilla (tipo buggy) de mezcla

2. Dosificación por 1 M3 de mezcla

Material	Dosificación en M3
Tierra	0.57
Confitillo	0.19
Piedra chancada de 1/2"	0.10
Piedra chancada de 3/4"	0.14
Agua	0.059

3. Volumen para una hilada de tapial

3.1 Dimensiones de la hilada

Longitud	1.00	m
Ancho	0.40	m
Altura	0.08	m
Volumen	0.032	m ³

3.2 Volumen con desperdicio (3%) para una hilada de tapial

Desperdicio	3.00%	
Volumen	0.033	m ³

4. Dosificación por hilada de tapial

Material	Dosificación en M3	Unidad
Tierra	0.01883	m ³ /Hilada
Confitillo	0.00628	m ³ /Hilada
Piedra chancada de 1/2"	0.00314	m ³ /Hilada
Piedra chancada de 3/4"	0.00471	m ³ /Hilada
Agua	0.00194	m ³ /Hilada

5. Cantidad por M2 para la construcción de muro de tapial típico

Material	Cantidad	Unidad
Tierra	0.235	m ³ /m ²
Confitillo	0.078	m ³ /m ²
Piedra chancada de 1/2"	0.039	m ³ /m ²
Piedra chancada de 3/4"	0.059	m ³ /m ²
Agua	0.024	m ³ /m ²



ANÁLISIS DE COSTO UNITARIO - MURO DE TAPIAL TÍPICO

Partida N° 1	:	Muro de Tapial Típico	Unidad	:	M2
Especificaciones	:	Capas compactadas de 80 mm.			
Cuadrilla	:	2 operarios + 1 oficial + 2 peones			
Rendimiento	:	M2/DIA	MO. 9.00	EQ. 9.00	

Descripción	Unid.	Cantidad	Precio Unitario	Parcial	Total
Materiales					
Tierra	m3	0.235	29.66	6.98	
Confitillo	m3	0.078	50.85	3.99	
Piedra chancada 1/2"	m3	0.039	50.85	2.00	
Piedra chancada 3/4"	m3	0.059	50.85	2.99	
Agua	m3	0.024	4.24	0.10	
Costo de material (S/)					16.06
Mano de obra					
Operario	hh	1.265	17.81	22.53	
Oficial	hh	0.973	14.44	14.05	
Peón	hh	1.918	13.00	24.94	
Costo de mano de obra (S/)					61.52
Equipos					
Tractor	hm	0.889	7.63	6.78	
Compresora	hm	0.889	10.17	9.04	
Martillo neumático	hm	1.778	6.78	12.05	
Andamio	hm	0.889	1.69	1.51	
Desgaste de herramientas	%M.O.		3.00%	1.85	
Costo de equipos (S/)					31.22
COSTO UNITARIO DIRECTO POR: M2					108.80

Partida N° 1	:	Muro de Tapial Típico	Unidad	:	M2
Especificaciones	:	Encofrado y desencofrado			
Cuadrilla	:	1 operario + 1 oficial			
Rendimiento	:	M2/DIA	MO. 9.00	EQ. 9.00	

Descripción	Unid.	Cantidad	Precio Unitario	Parcial	Total
Materiales					
Madera corriente	pie2	2.110	3.81	8.05	
Fierro corrugado tipo perno de 5/8"	kg	5.587	2.59	14.49	
Tuercas de 5/8"	und	3.000	2.54	7.63	
Clavos de 3"	kg	0.075	3.39	0.25	
Aceite de lubricación	gln	0.060	8.47	0.51	
Costo de material (S/)					30.93
Mano de obra					
Operario	hh	0.365	17.81	6.49	
Oficial	hh	0.365	14.44	5.27	
Costo de mano de obra (S/)					11.76
Equipos					
Desgaste de herramientas	%M.O.		3.00%	0.35	
Costo de equipos (S/)					0.35
COSTO UNITARIO DIRECTO POR: M2					43.04



APORTE UNITARIO DE MATERIALES PARA EL TAPIAL REFORZADO

1. Dosificación en volumen

Material	Dosificación en volumen
Tierra	2
Confitillo	2/3
Piedra chancada de 1/2"	1/3
Piedra chancada de 3/4"	1/2
Agua	5 litros por carretilla (tipo buggy) de mezcla

2. Dosificación por 1 M3 de mezcla

Material	Dosificación en M3
Tierra	0.57
Confitillo	0.19
Piedra chancada de 1/2"	0.10
Piedra chancada de 3/4"	0.14
Agua	0.059

3. Volumen para una hilada de tapial

3.1 Dimensiones de la hilada

Longitud	1.00	m
Ancho	0.40	m
Altura	0.08	m
Volumen	0.032	m ³

3.2 Volumen con desperdicio (3%) para una hilada de tapial

Desperdicio	3.00%	
Volumen	0.033	m ³

4. Refuerzo de hiladas de mortero de cemento - arena (C:A, 1:5)

4.1 Dimensiones de la hilada

Longitud	1.00	m
Ancho	0.05	m
Altura exterior	0.025	m
Altura interior	0.05	m

4.2 Cantidad por M2

Cantidad de hiladas	=	12.50	Hilada/m ²
Volumen de mortero	=	0.027	m ³ /m ²

Material	Dosificación en volumen	Cantidad	Unidad
Cemento	1	0.15634	Bolsas/m ²
Arena	5	0.02878	m ³ /m ²
Agua	5% del total	0.00166	m ³ /m ²

5. Cantidad por M2 para la construcción de muro de tapial reforzado

Material	Cantidad	Unidad
Tierra	0.235	m ³ /m ²
Confitillo	0.078	m ³ /m ²
Piedra chancada de 1/2"	0.039	m ³ /m ²
Piedra chancada de 3/4"	0.059	m ³ /m ²
Agua	0.026	m ³ /m ²



ANÁLISIS DE COSTO UNITARIO - MURO DE TAPIAL REFORZADO

Partida N° 1	:	Muro de Tapial Reforzado	Unidad	:	M2
Especificaciones	:	Capas compactadas de 80 mm. Con hiladas de mortero de cemento - arena con una dosificación en volumen de 1:5			
Cuadrilla	:	2 operarios + 1 oficial + 3 peones			
Rendimiento	:	M2/DIA	MO. 9.00	EQ. 9.00	

Descripción	Unid.	Cantidad	Precio Unitario	Parcial	Total
Materiales					
Tierra	m3	0.235	29.66	6.98	
Confitillo	m3	0.078	50.85	3.99	
Piedra chancada 1/2"	m3	0.039	50.85	2.00	
Piedra chancada 3/4"	m3	0.059	50.85	2.99	
Cemento tipo IP (42.5 kg)	m3	0.156	20.34	3.18	
Arena	bol	0.029	50.85	1.46	
Agua	m3	0.026	4.24	0.11	
Costo de material (S/)					20.71
Mano de obra					
Operario	hh	1.265	17.81	22.53	
Oficial	hh	0.973	14.44	14.05	
Peón	hh	2.508	13.00	32.60	
Costo de mano de obra (S/)					69.18
Equipos					
Tractor	hm	0.889	7.63	6.78	
Compresora	hm	0.889	10.17	9.04	
Martillo neumático de aguja	hm	1.778	6.78	12.05	
Andamio	hm	0.889	1.69	1.51	
Desgaste de herramientas	%M.O.		3.00%	2.08	
Costo de equipos (S/)					31.45
COSTO UNITARIO DIRECTO POR: M2					121.35

Partida N° 1	:	Muro de Tapial Reforzado	Unidad	:	M2
Especificaciones	:	Encofrado y desencofrado			
Cuadrilla	:	1 operario + 1 oficial			
Rendimiento	:	M2/DIA	MO. 9.00	EQ. 9.00	

Descripción	Unid.	Cantidad	Precio Unitario	Parcial	Total
Materiales					
Madera	pie2	2.110	3.81	8.05	
Fierro corrugado tipo perno de 5/8"	kg	5.587	2.59	14.49	
Tuercas de 5/8"	und	3.000	2.54	7.63	
Clavos de 3"	kg	0.075	3.39	0.25	
Aceite de lubricación	gln	0.060	8.47	0.51	
Costo de material (S/)					30.93
Mano de obra					
Operario	hh	0.365	17.81	6.49	
Oficial	hh	0.365	14.44	5.27	
Costo de mano de obra (S/)					11.76
Equipos					
Desgaste de herramientas	%M.O.		3.00%	0.35	
Costo de equipos (S/)					0.35
COSTO UNITARIO DIRECTO POR: M2					43.04



MURO DE ADOBE

A) APORTE UNITARIO DE MATERIALES

1. Dimensiones

Longitud	0.40	m
Ancho	0.20	m
Altura	0.10	m
Volumen	0.008	m ³

2. Mortero de tierra - paja (T:P, 2:1)

2.1 Espesor de las juntas vertical y horizontal

Espesor	0.02	m
---------	------	---

2.2 Cantidad por M2

Cantidad de adobes	=	37.88	Adobes/m ²
Volumen de mortero	=	0.097	m ³ /m ²

Material	Dosificación en volumen	Cantidad	Unidad
Paja	1	0.01010	Carga/m ²
Tierra	2	0.06465	m ³ /m ²
Agua	20% del total	0.01939	m ³ /m ²

B) ANÁLISIS DE COSTO UNITARIO

Partida N° 1	:	Muro de adobe	Unidad	: M2
Especificaciones	:	Adobe de 40 x 20 x 10 cm, junta de 2 cm, mezcla tierra - paja 2:1		
Cuadrilla	:	1 operario + 1 peón		
Rendimiento	:	M2/DIA	MO. 5.00	EQ. 5.00

Descripción	Unid.	Cantidad	Precio Unitario	Parcial	Total
Materiales					
Tierra	m3	0.065	29.66	1.92	
Paja	Carga	0.010	25.42	0.26	
Agua	m3	0.019	4.24	0.08	
Adobe 40x20x10 cm	und	37.88	1.02	38.52	
				Costo de material (S/)	40.78
Mano de obra					
Operario	hh	1.600	17.81	28.50	
Peón	hh	1.600	13.00	20.80	
				Costo de mano de obra (S/)	49.30
Equipos					
Andamio	hm	1.600	12.71	20.34	
Polea	hm	1.600	8.47	13.56	
Carretilla	hm	1.600	3.18	5.08	
Desgaste de herramientas	%M.O.		3.00%	1.48	
				Costo de equipos (S/)	40.46
COSTO UNITARIO DIRECTO POR: M2					130.54

CAPÍTULO IX

PANEL FOTOGRAFICO

9 PANEL FOTOGRÁFICO

Fotografías de la obra: “Guardería de niños en la A.P.V. Ayuda Mutua – Cusco”



Actividades para mezclar la tierra con los agregados.



Sistema de encofrado para tapial. Vistas: exterior (izquierda) e interior (derecha)



Actividades para la compactación de la mezcla de tierra con los agregados.

CARACTERIZACIÓN DE MATERIALES: REGISTRO FOTOGRÁFICO.



Extracción de tierra en estudio.



Cuardeo de muestra de suelo.



Ensayo de granulometría: lavado de suelo.



Ensayo de límite líquido.



Ensayo de límite plástico.



Ensayo de peso específico. Extracción de aire.



Ensayo de compactación.



Ensayo de compactación: proctor modificado.



Ensayo de peso unitario del agregado grueso



Ensayo de peso unitario del agregado fino.



Ensayo de peso específico del agregado fino.



Ensayo de peso específico del agregado grueso

ELABORACION DE ESPECIMENES: REGISTRO FOTOGRAFICO



Mezclado de material para tapial.



Armado de encofrado.



Colocado de encofrado sobre superficie para compactado.



Limpieza y con esponja y aceite.



Control vertical y horizontal de los encofrados.



Encofrado de pilas y muretes.



Colocación y compactación de material.



Humedad de ensayo y control de compactado.



Control de compactado mediante alturas de compactación.



Mortero de refuerzo



Colocacion del mortero para refuerzo en encofrado con pendiente 2H:1V



Vista de mortero de cemento-arena en el proceso de elaboracion de muro reforzado.



Control de nivel del espécimen una vez compactado



Control de horizontalidad del espécimen.



Desenformado de muro tapial.



Vista superior del espécimen en el proceso de desenformado.



Espécimen en proceso de desenformado.



Espécimen fuera del desencofrado



Registro de peso del espécimen después de su fabricación.



Colocado del espécimen en el lugar de secado.



Pesado del espécimen para su control de secado.



Prueba del contenido de humedad en campo.



Base para la compactación con soporte de fijación al piso.



Control de humedad durante la compactación de la tierra.



Culminación de la construcción de pilas y muretes de tapial tradicional.



Culminación de la construcción de pilas y muretes de tapial reforzados con hiladas de mortero de cemento - arena.



Control del peso durante el proceso de secado de los especímenes.



Proceso de secado de pilas y muretes de tapial.



Colocado de las hiladas de mortero de cemento - arena como refuerzo para el tapial.



Colocado de angulares en las diagonales de los muretes; así mismo recubrimiento con capping en las 2 esquinas de una diagonal.

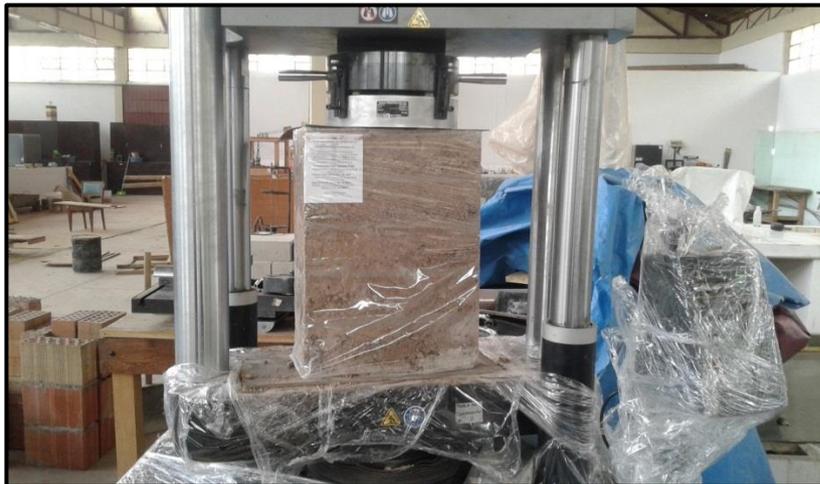


Registro de las dimensiones de pilas y muretes de tapial.

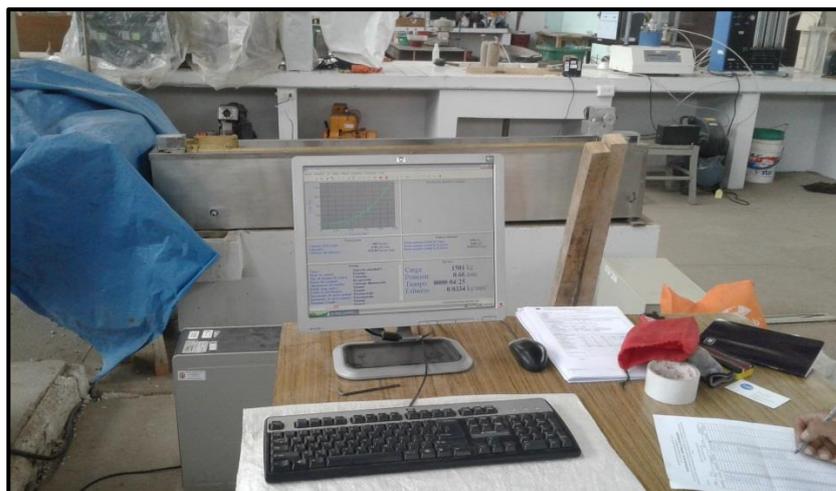
ENSAYOS DE PILAS EN LABORATORIO: REGISTRO FOTOGRÁFICO.



Colocación de capping en los especímenes.



Colocado del espécimen en la máquina para ser sometido a fuerza de compresión.



Registro de la aplicación de fuerza vs desplazamiento sobre el espécimen.



Falla de pila con refuerzo, presencia de agrietamientos verticales.



Falla de pila típica, presencia de agrietamientos verticales.



Falla en pila con agrietamientos verticales y desprendimiento de partículas.

ENSAYOS DE MURETES EN LABORATORIO: REGISTRO FOTOGRÁFICO.



Control de horizontalidad del equipo de compresión diagonal.



Colocación de espécimen en el equipo de compresión diagonal.



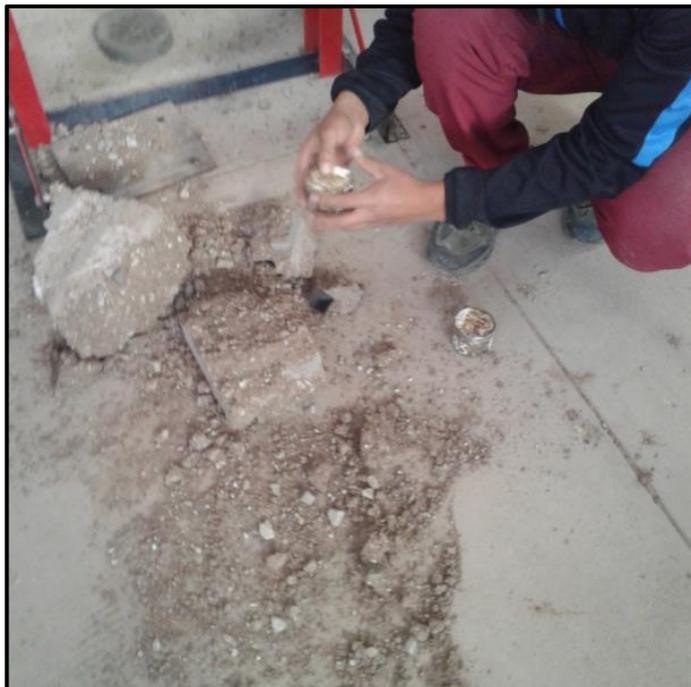
Colocación de diales en los topes del murete.



Falla diagonal del muro típico.



Falla completa del muro reforzado.



Toma de muestras de tierra, inmediatamente después del ensayo de compresión diagonal en muretes.