

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ
FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA



PONTIFICIA
UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DEL PERÚ

**ESTUDIO COMPARATIVO DE ENSAMBLES DE SHICRAS RELLENAS
CON PIEDRAS USADAS COMO SOBRECIMIENTO DE MUROS DE
TIERRA**

Tesis para optar el Título de Ingeniero Civil, que presenta el bachiller

MAURICIO EDUARDO ORTIZ VALENCIA

ASESOR

Ing. Julio Vargas Neumann

LIMA – PERÚ

2018

AGRADECIMIENTO

Le agradezco a Dios por haberme acompañado y guiado a lo largo de mi carrera, por ser mi fortaleza en los momentos de debilidad y por brindarme una vida llena de aprendizajes, experiencias y sobre todo felicidad.

Le doy gracias a mis padres Raúl y Teresa por apoyarme en todo momento, por los valores que me han inculcado, y por haberme dado la oportunidad de tener una excelente educación en el transcurso de mi vida. Sobre todo, por ser un excelente ejemplo de vida a seguir.

A mis hermanos, por ser parte importante de mi vida y representar la unidad familiar. A Álvaro y Juan Carlos por ser un ejemplo de desarrollo profesional a seguir, a Sofía por llenar mi vida de alegrías y amor cuando más lo he necesitado.

A Belén, por ser una parte importante en mi vida, por haberme apoyado en las buenas y en las malas, sobre todo por su paciencia y amor incondicional. Te amo corazón de mi vida, vida de mi corazón.

Le agradezco la confianza, apoyo y dedicación de tiempo a mis profesores: Julio Vargas, Carlos Sosa y José Montoya. Por haber compartido conmigo su conocimiento y sobre todo su amistad.

A mis amigos por confiar y creer en mí y haber hecho de mi etapa universitaria un trayecto de vivencias que nunca olvidaré.



DEDICATORIA

Este trabajo va dedicado a mis padres, su esfuerzo es mi modelo a seguir. Gracias
por todo lo que me han enseñado.

A mis hermanos: Álvaro por mostrarme el camino a seguir y Sofía por alentarme al
ver tu desarrollo personal y profesional.

A mi enamorada Belén, por ser una motivación más en mi desarrollo personal y
profesional.

Resumen

El uso de Shicras, bolsas hechas con fibra vegetal tipo malla de soguillas que son rellenas con piedras de diferente tamaño, se registra desde la época de la cultura Caral, la más antigua de América. Estas bolsas de piedras fueron utilizadas como núcleo de las plataformas que conforman las pirámides de sus edificios públicos, con el fin de provocar en ellas atenuaciones de la energía sísmica que se produjera. Por ello, las pirámides han conservado su geometría aún después de 5000 años, estando localizadas en una de las zonas más sísmicas del Perú.

Asimismo, se conoce que las construcciones de tierra son muy vulnerables, cada vez que ocurren fenómenos naturales como terremotos o inundaciones, los más afectados son quienes viven en casas de tierra. Al ver fisuras y grietas en los muros de tierra, los ocupantes no se sienten seguros. La filosofía de la Ing.Civil busca reforzar y tener construcciones de tierra sismorresistentes; para ello se debe garantizar que no colapsen ante eventualidades sísmicas. Con esta investigación se busca disminuir las grietas y fisuras que se podrían formar en muros de tierra ante eventuales movimientos sísmicos. El Departamento de Ingeniería de la Pontificia Universidad Católica del Perú a través de su Laboratorio de Estructuras, permitió que se hicieran ensayos en 6 muros de tierra superpuestos a Prototipos de Sobrecimientos Aislantes, sobre el simulador sísmico. Los materiales empleados para la elaboración de los prototipos fueron locales y accesibles, propios a los pobladores rurales de estas construcciones.

Los resultados fueron positivos e instructivos, pues es posible desplazar y crear atenuación de energía sísmica en los muros de tierra sin que estos se agrieten ni fallen. De este modo, se comprueba que el sistema de sobrecimientos que incluye ensambles de shicras elípticas, canicas y tacos de madera son potenciales disipadores sísmicos que disminuyen los daños a los muros de tierra.

TEMA DE TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL

Título : Estudio comparativo de ensambles de shicras rellenas con piedras usadas como sobrecimiento de muros de tierra.

Área : Construcción y Gestión

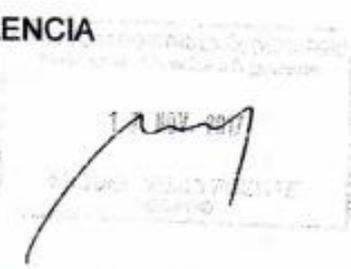
Asesor : Ing. Julio Vargas Neumann

Alumno : MAURICIO EDUARDO ORTIZ VALENCIA

Código : 2011.1364.412

Tema N° : # 296

Fecha : Lima, 13 de noviembre de 2017



INTRODUCCIÓN

En el marco del Proyecto Estudio de Aislamiento Sísmico de Viviendas Rurales Mediante Sobrecimientos con Shicras del Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento aún no publicado, la PUCP financia el Proyecto Estudio Comparativo de Ensamblados de Shicras Rellenas con Piedras usadas como sobrecimiento de muros de tierra, con el fin de ampliar la investigación e incrementar conocimientos. Este nuevo proyecto fue asignado al Ing. Julio Vargas Neumann (asesor de tesis), Ing. Sosa Cárdenas, Ing. Montoya Robles y tesista Ortiz Valencia.

OBJETIVO

Obtener un tipo de sobrecimiento que disminuya los daños (fisuras) en los muros de tierra, por movimientos del suelo,

DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

Se procederá a fabricar los Prototipos de Sobrecimiento Aislante y se colocarán encima de cada uno, muros de tierra reforzada.

Se procederá a realizar los ensayos de carga cíclica horizontal y simulación sísmica a las muestras fabricadas previamente.

Finalmente, se procederá a analizar la fuerza necesaria para desplazar cada muro respecto a su cimiento y el comportamiento de cada uno de ellos durante los ensayos de simulación sísmica.

PLAN DE TRABAJO

1era Revisión

Fabricación de los Prototipos de Sobrecimiento Aislante

2da Revisión

Realización de ensayos de Carga Cíclica Horizontal

3ra Revisión

Realización de ensayos de simulación sísmica

4ta Revisión

Análisis de resultados

Máximo: 100 páginas



Índice

Lista de Figuras.....	iv
Lista de Tablas.....	vi
Lista de Ecuaciones.....	vii
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO 1: NORMATIVIDAD	2
1.1. Construcciones de tierra en el Perú.....	2
1.2. Pruebas de campo para elegir canteras	3
1.2.1. Prueba “Resistencia Seca”.....	3
1.2.2. Prueba “Control de Fisuras”.....	4
1.2.3. Refuerzo de muros de tierra.....	4
1.3. Coeficiente de fricción para el control de desplazamiento	5
1.4. Concepto de “Potencial Destructivo”	8
CAPÍTULO 2. EXPERIENCIAS PREVIAS DE PROYECTOS RELACIONADOS.....	10
2.1. Evaluación del refuerzo de drizas	10
2.2. Caral y el Sistema constructivo sismorresistente mediante Shicras rellenas con piedras	11
2.3. Investigación sobre atenuación de aceleraciones con Shicras rellenas con piedra en una construcción piramidal.....	12
2.4. Investigación sobre disipación de energía con el uso de shicras rellenas con piedras como sobrecimiento en muros de tierra.	13
CAPÍTULO 3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	16
3.1. Objetivos	16
3.1.1. Objetivo General	16
3.1.2. Objetivos Específicos	16
3.2. Alcance.....	16
3.3. Hipótesis	16
CAPÍTULO 4. METODOLOGÍA.....	17
4.1. Tipos de shicras y bolsas enmalladas utilizadas en el Proyecto del MVCS¹⁷	
4.1.1. Shicra de driza blanca.....	17
4.1.2. Bolsa de malla negra de pescador	19
4.1.3. Shicra de nylon	20
4.2. Ensamble de shicras utilizadas en el proyecto del MVCS.....	20
4.2.1. Ensamble de shicras Elíptica	21
4.2.2. Ensamble de shicras Esférica	22
4.2.3. Ensamble de shicras con piedras de 4 a 6”	23
4.2.4. Ensamble de shicras con piedras de 5 a 7 “	23

4.3. Nuevos Prototipos de Sobrecimiento Aislante.....	24
4.3.1. Primer Prototipo de Sobrecimiento Aislante. Sobrecimiento con piedras de ½”.....	25
4.3.2. Segundo Prototipo de Sobrecimiento Aislante. Sobrecimiento con Platinas y piedras.	27
4.3.3. Tercer Prototipo de Sobrecimiento Aislante. Sobrecimiento con canicas y tacos de madera.....	29
4.3.4. Cuarto Prototipo de Sobrecimiento Aislante. Sobrecimiento con Platinas menos rugosas.....	37
4.3.5. Quinto Prototipo de Sobrecimiento Aislante. Sobrecimiento con Rollizos de madera.....	39
4.3.6. Sexto Prototipo de Sobrecimiento Aislante. Sobrecimiento con canicas y menos tacos de madera.	40
4.4. Verificación de cantidad de arcilla y arena gruesa del suelo para la obtención de construcciones de tierra reforzada.....	41
4.5. Presentación de muros (SECUENCIA FOTOGRÁFICA)	43
4.6. Ensayos realizados	46
4.6.1. Ensayos de carga cíclica horizontal	46
4.6.2. Ensayos de simulación sísmica.....	48
CAPÍTULO 5. RESULTADOS	53
4.1. Ensayo de carga cíclica horizontal.....	53
4.1.1 Resultados.....	53
4.1.2 Análisis de resultados	62
4.2. Ensayo de simulación sísmica	65
4.2.1. Resultados	65
4.2.2. Video.....	65
4.2.3. Análisis de Resultados	66
CAPITULO 6: CONCLUSIONES	70
CAPÍTULO 7. FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN	71
Recomendaciones	72
Bibliografía.....	73

Lista de Figuras

Figura 1 Refuerzo con driza (Fuente: El Peruano: 2017, 23, 24)	5
Figura 2 Alineamiento del módulo de albañilería con el simulador sísmico (cimiento) para el ensayo dinámico (Fuente: Radhikesh P. Nanda, et. al. 2016, 4)	6
Figura 3 Ensayo Estático (Fuente: Radhikesh P. Nanda, et. al., 2016, 3)	7
Figura 4 Esquema de fisuras y vista general del estado del módulo de adobe después de la última fase del ensayo. (Fuente: Sosa et al., 8, 2014).....	11
Figura 5 Presentación de muros de adobe pintados con Temple blanco (Fuente: Estudio de Aislamiento Sísmico de Viviendas Rurales mediante Sobrecimientos con Shicras. MVCS, 2017. En proceso de publicación)	14
Figura 6 Modelo de sobrecimientos evaluados en el Proyecto MVCS (Fuente: MVCS, sin publicación).....	14
Figura 7 Tejido de shicra clase 1 (Fuente: MVCS, 2017. En proceso de publicación)	18
Figura 8 Bastidores de madera (Fuente: Proyecto Estudio de Aislamiento Sísmico de Viviendas Rurales Mediante Sobrecimientos con Shicras, 2017. En proceso de publicación)	18
Figura 9 Shicra de driza blanca (Fuente: Proyecto Estudio de Aislamiento Sísmico de Viviendas Rurales Mediante Sobrecimientos con Shicras, 2017. En proceso de publicación)	19
Figura 10 Tejido de Shicra de malla negra de pescador (Fuente: Proyecto Estudio de Aislamiento Sísmico de Viviendas Rurales Mediante Sobrecimientos con Shicras, 2017. En proceso de publicación)	19
Figura 11 Shicra de nylon (Fuente: Proyecto Estudio de Aislamiento Sísmico de Viviendas Rurales Mediante Sobrecimientos con Shicras, 2017. En proceso de publicación)	20
Figura 12 Construcción del Ensamble de Shicras Elíptica (Fuente: Proyecto Estudio de Aislamiento Sísmico de Viviendas Rurales Mediante Sobrecimientos con Shicras, 2017. En proceso de publicación)	21
Figura 13 Construcción de Ensamble de Shicra Esférica.....	22
Figura 14 Construcción de Ensamble de Shicra 3 (Fuente: Proyecto Estudio de Aislamiento Sísmico de Viviendas Rurales Mediante Sobrecimientos con Shicras, 2017. En proceso de publicación)	23
Figura 15 Construcción de Ensamble de Shicra 4 (Fuente: Proyecto Estudio de Aislamiento Sísmico de Viviendas Rurales Mediante Sobrecimientos con Shicras, 2017. En proceso de publicación).....	24
Figura 16 Capa de piedras de canto rodado	25
Figura 17 Listones de triplay	26
Figura 18 Diseño preliminar del Primer Prototipo de Sobrecimiento Aislante.....	27
Figura 19 Fabricación y colocación de la 1era y 2da capa del Segundo Prototipo de Sobrecimiento Aislante	28
Figura 20 Diseño preliminar del Segundo Prototipo de Sobrecimiento Aislante	29
Figura 21 Ensayo de carga axial de canica.....	30
Figura 22 Modelo Preliminar de la sección de triplay y platina, sectorizada.	32
Figura 23 Presentación y comparación de altura de los tacos de madera	33
Figura 24 Elaboración y ejecución de ensayo para el cálculo de fuerza de fricción	33
Figura 25 Fabricación y colocación de platina sobre la viga de concreto	35
Figura 26 Colocación de drizas como líneas guía de la distribución de cubos de madera y canicas en el sobrecimiento	36
Figura 27 Diseño Preliminar del Tercer Prototipo de Sobrecimiento Aislante.....	37
Figura 28 Diseño Preliminar del Cuarto Prototipo de Sobrecimiento Aislante.	38
Figura 29 Distribución de rollizos de madera	39

Figura 30 Diseño Preliminar del Quinto Prototipo de Sobrecimiento Aislante	40
Figura 31 Distribución de canicas y tacos de madera	41
Figura 32 Ensayo de “Resistencia Seca” (Fuente: Proyecto Estudio de Aislamiento Sísmico de Viviendas Rurales Mediante Sobrecimientos con Shicras, 2017. En proceso de publicación)	42
Figura 33 Ensayo de “Control de fisuras” (Fuente: Proyecto Estudio de Aislamiento Sísmico de Viviendas Rurales Mediante Sobrecimientos con Shicras, 2017. En proceso de publicación.)	42
Figura 34 Presentación del muro M1	43
Figura 35 Presentación del muro M2	43
Figura 36 Presentación del muro M3	44
Figura 37 Presentación del muro M4	44
Figura 38 Presentación del muro M5	45
Figura 39 Presentación del muro M6	45
Figura 40 Esquema del ensayo de carga cíclica, referencia del Muro M3.....	47
Figura 41 Colocación e instalación de muros sobre el simulador sísmico.....	48
Figura 42 Acelerograma del simulador sísmico para la fase 1	49
Figura 43 Acelerograma del simulador sísmico para la fase 2	50
Figura 44 Acelerograma del simulador sísmico para la fase 2	50
Figura 45 Acelerograma del simulador sísmico para la fase 4	51
Figura 46 Esquema de la instrumentación para el ensayo de simulación sísmica. .	52
Figura 47 Ensayo de carga cíclica del muro M1.	54
Figura 48 Diagrama de fuerza – desplazamiento del sobrecimiento con piedras ½”	54
Figura 49 Ensayo de carga cíclica del muro M2	55
Figura 50 Diagrama de fuerza – desplazamiento del sobrecimiento con platinas con mayor rugosidad	56
Figura 51 Ensayo de carga cíclica del muro M3	57
Figura 52 Diagrama de fuerza – desplazamiento del sobrecimiento con canicas con mayor rugosidad	57
Figura 53 Ensayo de carga cíclica del muro M4	58
Figura 54 Diagrama de fuerza – desplazamiento del sobrecimiento con platinas ...	59
Figura 55 Ensayo de carga cíclica del M5.....	60
Figura 56 Diagrama de fuerza – desplazamiento del sobrecimiento con rollizos de madera	60
Figura 57 Ensayo de carga cíclica del muro M6	61
Figura 58 Diagrama de fuerza – desplazamiento del sobrecimiento con canicas con menor rugosidad.....	62

Lista de Tablas

Tabla 1 Ratio de incremento de construcciones de tierra.....	2
Tabla 2 Coeficiente de fricción de los sobrecimientos y muro de tierra – Referencia: Figura 6	15
Tabla 3 Resistencia de las canicas.....	30
Tabla 4 Carga por unidad de área transversal de muro, para una construcción de dimensiones reales.....	31
Tabla 5 Cálculo de cantidad de canicas.....	32
Tabla 6 Resultados de la oposición al desplazamiento sobre combinaciones de tacos de madera y canicas.	34
Tabla 7 Relaciones límite de canicas y cubos de madera.....	35
Tabla 8 Ensayo de Carga Cíclica Horizontal.....	48
Tabla 9 Desplazamientos máximos del simulador sísmico por cada fase	49
Tabla 10. Tabla de masas de los muros	53
Tabla 11 Cálculo del coeficiente de fricción del muro M1.....	55
Tabla 12 Cálculo del coeficiente de fricción del muro M2.....	56
Tabla 13 Cálculo del coeficiente de fricción del muro M3.....	58
Tabla 14 Cálculo del coeficiente de fricción del muro M4.....	59
Tabla 15 Cálculo del coeficiente de fricción del muro M5.....	61
Tabla 16 Cálculo del coeficiente de fricción del muro M6.....	62
Tabla 17 Renombre de sobrecimientos analizados en el proyecto del MVCS. Ref. Figura 6.	63
Tabla 18 Resumen de coeficientes de fricción de cada sobrecimiento analizado. ..	63
Tabla 19 Comparación de reducción del coeficiente de fricción.....	65
Tabla 20 Comparación de Potencial Destructivo de los muros y del simulador sísmico para la fase 1.....	66
Tabla 21 Comparación de Potencial Destructivo de los muros y de la mesa vibradora para fase 2.....	67
Tabla 22 Comparación de Potencial Destructivo de los muros y de la mesa vibradora para fase 3.....	67
Tabla 23 Comparación de Potencial Destructivo de los muros y de la mesa vibradora para fase 4.....	68

Lista de Ecuaciones

$u = F/W$	[Ecuación 1]	6
$PD = IAvO2$	[Ecuación 2]	8
$IA = 2\pi g * at2 * \Delta t$	[Ecuación 3]	8
$wa = at2 * \Delta t$	[Ecuación 4]	8



Introducción

Nuestro país se caracteriza por ser de alto riesgo sísmico, pese a esto, según el INEI sabemos que el 30% de casas, en todo el Perú, son de tierra. Estas construcciones son frágiles y poco resistentes ante los sismos, lo que podría ocasionar grandes daños materiales y pérdidas humanas. Dicho esto, se inicia una investigación complementaria con la que se espera mejorar el comportamiento de disipación de energía sísmica que producen shicras rellenas con piedras como sobrecimiento, en muros de tierra.

Los habitantes de Caral se ingeniaron para que sus construcciones de tierra sufran menores daños tras los eventos sísmicos. Han pasado más de 5000 años y sus construcciones piramidales no han colapsado totalmente, se atribuye la durabilidad a su sistema constructivo. Distintas investigaciones revelan la presencia de shicras rellenas con piedras, como núcleo de sus construcciones, Las shicras son bolsas tejidas con mallas de soguillas. De este modo, las shicras rellenas con piedras forman un sistema constructivo sismorresistente para construcciones masivas.

El Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento realizó una investigación titulada “Estudio de Aislamiento Sísmico de Viviendas Rurales Mediante Sobrecimientos con Shicras”, la cual aún no se publica. En esta, se analizó el comportamiento de 12 muros de tierra colocados sobre shicras rellenas con piedras. Después del primer ensayo, no destructivo, destinado a evaluar la fuerza que genera el desplazamiento de 6 de los muros respecto a su cimiento, pudieron ser reutilizados para iniciar esta nueva investigación. Con el uso de materiales de alcance nacional y shicras rellenas con piedras se espera mejorar la disipación de energía sísmica en muros de tierra. El Departamento de Ingeniería de la PUCP, a través de su Laboratorio de Estructuras, permite la ejecución de los ensayos experimentales de esta investigación.

Capítulo 1. Normatividad

1.1. Construcciones de tierra en el Perú

En la actualidad se siguen utilizando edificaciones de tierra, las que generalmente son construidas por los mismos pobladores de las comunidades locales del país, debido al alcance y disponibilidad de materiales. En los distritos más alejados de Lima e interior del Perú, prefieren usar los materiales que pueden tomar del campo para construir sus casas. Los materiales que recolectan son tierra, roca y madera principalmente, de este modo, gran cantidad de casas de tierra son construidas dentro del Perú. Sin embargo, las edificaciones de tierra son altamente vulnerables a los efectos de fenómenos naturales como terremotos, lluvias e inundaciones.

Durante los terremotos, debido a su gran peso y poca resistencia, las edificaciones de tierra desarrollan niveles elevados de fuerza sísmica que son incapaces de resistir. En las áreas donde se ha construido con tierra, se ha registrado considerables pérdidas tanto humanas como materiales. Según INDECI, el terremoto ocurrido el 15 de Agosto de 2007, en el sur de Perú, causó la muerte de 596 personas y la destrucción de más de 90000 viviendas, entre ellas más del 30% de tierra. Los daños causados provocaron que más de 450000 personas se quedaran sin vivienda (2007: 403). Conforme a la experiencia descrita, las personas que habitan en edificaciones de tierra, suelen ser muy afectadas después de movimientos sísmicos.

Sin embargo, dos censos realizados por el INEI revelan que el aumento de edificaciones de tierra no se detiene frente a los resultados o experiencia de los terremotos ocurridos hasta la fecha (2008: 12, 2013:1). Así lo muestra el aumento de edificaciones de tierra, usadas como viviendas, que se muestra en la tabla 1.

Tabla 1 Ratio de incremento de construcciones de tierra

Concepto	2007	2013	INCREMENTO EN 6 AÑOS	INCREMENTO ANUAL	% INCREMENTO ANUAL
Cantidad de Edificaciones de tierra usadas como vivienda	2'229.715	2'774.005	544.290	90.715	4%

Nota. Fuente: Censo del Instituto Nacional de Estadística e Informática, 2008 y 2013

En la tabla 1 se muestra la cantidad total de edificaciones de tierra usadas como vivienda en los años 2007 y 2013. Se observa el aumento de 544.290 de estas construcciones entre los años mencionados. Esto equivale a un ratio de incremento anual de 90.715 edificaciones de tierra. A su vez, este incremento representa un 4% de aumento de edificaciones de tierra por año. Este porcentaje es alarmante y más aún si añadimos las construcciones de tierra de uso comunitario, entre ellos colegios, centros de salud, oficinas, etc.

1.2. Pruebas de campo para elegir canteras

Es evidente que, ante sismos las construcciones de tierra reforzada son la mejor opción para que la estructura sufra menores daños. En adelante se explican dos procedimientos para elegir la cantera y la cantidad de arena gruesa que tenga el suelo. Asimismo, se describe el refuerzo externo con soga sintética que deberían tener las construcciones de tierra reforzada para tener mayor resistencia.

1.2.1. Prueba “Resistencia Seca”

Según Ferri, Pérez, García y López (2010, 86), señalan que “uno de los principales componentes que afecta la resistencia de la tierra seca es la arcilla”. Existe una prueba de campo llamada Resistencia Seca que determina si el suelo es apto para una construcción con tierra reforzada, en base a la cantidad de arcilla que en él se encuentre.

La manera óptima de elegir la cantera que tiene tierra con suficiente cantidad de arcilla es aplicando la prueba de campo denominado Resistencia Seca. Esta prueba consiste en medir la resistencia de 4 muestras de tierra, por medio del aplastamiento con los dedos de cada una de ellas. Cada muestra resulta de la combinación de suficiente agua con tierra para formar una muestra esférica; la cual se deja secar en la sombra por 48 horas. Las recomendaciones de esta prueba son las siguientes, si se fisura por lo menos una de las muestras, la tierra no tiene suficiente arcilla; si se deforma, la tierra tiene exceso de arcilla; si no sufren ningún cambio, la tierra tiene la cantidad de arcilla necesaria (El Peruano, 2017a: 20).

1.2.2. Prueba “Control de Fisuras”

Se cree que la cantidad de arena gruesa en el suelo controla que no aparezcan fisuras por secado en las edificaciones de tierra. Por esto, es necesario realizar una prueba para determinar cuál es la relación de arena gruesa y suelo que se necesita para minimizar la aparición de estas fisuras por secado.

A continuación se explica la prueba de Control de Fisuras. Se preparan especímenes de prueba que consisten cada uno en emparedados de dos adobes existentes unidos por morteros nuevos. Los morteros deben tener la mínima cantidad de agua necesaria para una mezcla trabajable. Cada espécimen de prueba se diferencia de los otros, en la cantidad de arena gruesa que contiene el mortero. El mortero del primer espécimen contiene una (01) parte de suelo y cero (00) de arena gruesa, es decir en una relación 1:0. El mortero del segundo espécimen contiene una parte de suelo y media de arena gruesa, 1:1/2. Así, cada nuevo mortero aumenta en ½ cantidad de arena gruesa, hasta la proporción 1:3. Luego de secarlos por 48 horas, se abren los especímenes en el mismo orden de aumento de arena gruesa para observar el agrietamiento del mortero. La prueba finaliza al identificar la relación de suelo y arena gruesa del mortero que no presenta fisuras visibles. (El Peruano, 2017b: 21)

1.2.3. Refuerzo de muros de tierra

Según el MVCS, recomienda usar refuerzo horizontal y vertical en los muros de las edificaciones de tierra reforzada. Esta recomendación es para poder controlar los desplazamientos de la edificación de tierra e impedir los colapsos parciales ante sismos. A su vez, el MVCS propone algunos materiales para ser usados como refuerzo de los muros de tierra. Por ejemplo algunos de los materiales son de tipo vegetal (caña carrizo, caña brava, madera, etc.), geomallas o sogas sintéticas (El Peruano, 2017c: 9).

El MVCS muestra la colocación de soga sintética, también llamada driza, como refuerzo externo de construcciones de tierra (ver figura 1). Este refuerzo es para controlar el comportamiento de las construcciones de tierra reforzada, durante sismos (El Peruano, 2017d: 21-24). La función de la driza es tomar los esfuerzos de tracción y contener la construcción de tierra.

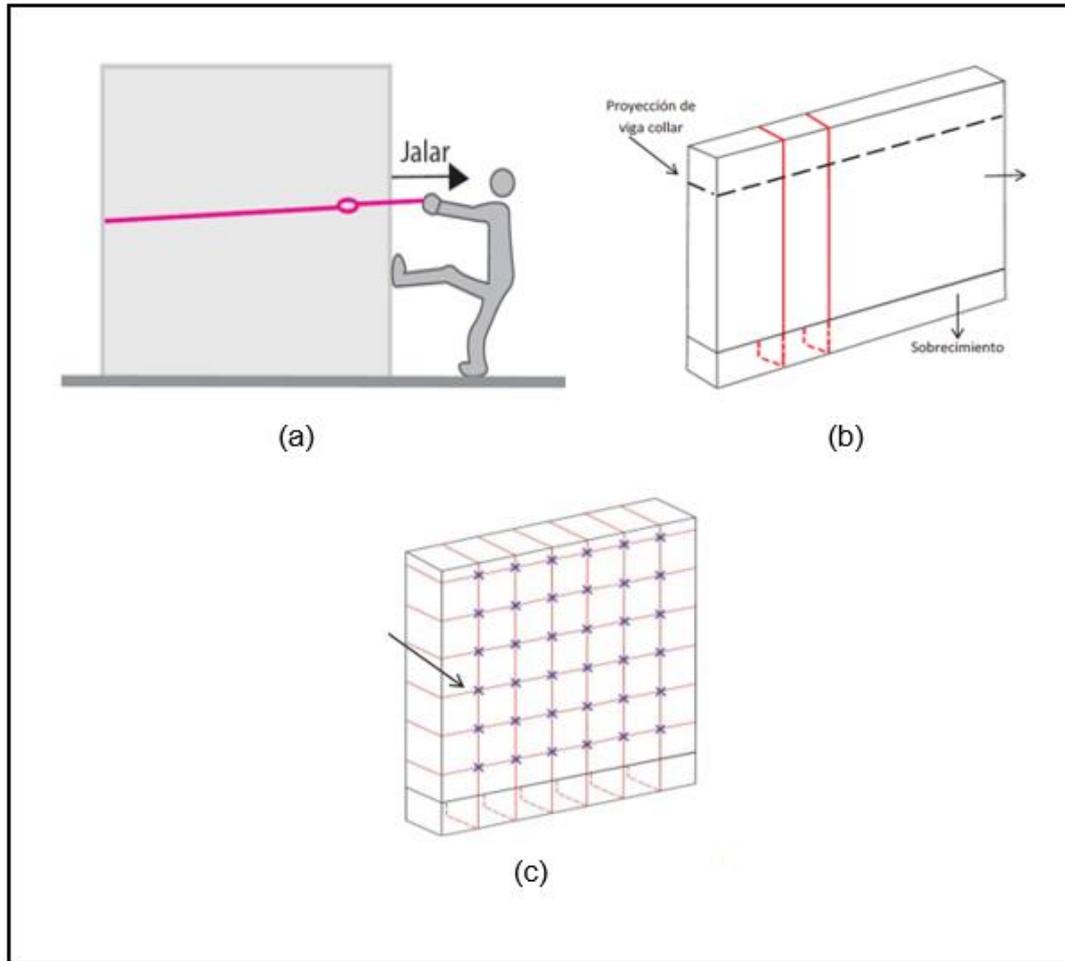


Figura 1 Refuerzo con driza (Fuente: El Peruano: 2017, 23, 24)

Es necesario que la driza se encuentre tensa alrededor de todo el muro para que cumpla su función. En la figura 1 – imagen (a) se observa que la driza se tensa horizontalmente alrededor del muro y se anuda. Este nudo permite autoajustar la driza con el propio peso. Así también, como se observa en la figura 1 – imagen (b), se coloca la driza por debajo del sobrecimiento y por encima del muro para ser tensada verticalmente y ajustada al mismo por medio del nudo descrito. De este modo, como se observa en la figura 1 – imagen (c), la driza se tensa alrededor del muro en forma horizontal y vertical, formando cuadrados entre las intersecciones de las mismas. Finalmente, se usa una driza conectora (x) para amarrar el lazo vertical con el horizontal en ambos lados del muro.

1.3. Coeficiente de fricción para el control de desplazamiento

El coeficiente de fricción es un valor adimensional que es característico de cada par de materiales en contacto. En el caso de una superficie horizontal, el coeficiente de

fricción representa el porcentaje de peso que se necesita en fuerza para desplazar un cuerpo sobre la superficie de apoyo. Este coeficiente se calcula con la siguiente ecuación:

$$u = \frac{F}{W} \dots\dots\dots [Ecuación 1]$$

Donde

- u : Coeficiente de fricción
- w : Peso del cuerpo que se desplaza
- F : Fuerza que provoca el movimiento del cuerpo

En India, Radhikesh P. Nanda y otros ingenieros presentaron su investigación titulada “Low-Cost Base-Isolation System for Seismic Protection of Rural Buildings”. Analizaron el contacto de materiales como el cuarzo - cuarzo, cuarzo - caucho, cuarzo - poliestireno de alta densidad y cuarzo - geosintético para producir aislamiento en un módulo de albañilería. Estos materiales fueron colocados en la interfaz entre el cemento y la base de la estructura (2016: 1). Afirman que para aislar la estructura es necesario usar una interfaz que la separe del cemento,



Figura 2 Alineamiento del módulo de albañilería con el simulador sísmico (cimiento) para el ensayo dinámico (Fuente: Radhikesh P. Nanda, et. al. 2016, 4)

La figura 2 muestra el alineamiento del módulo de albañilería con el simulador sísmico para el ensayo dinámico. Se evaluó en este ensayo, el comportamiento del

módulo de albañilería, generado por dos materiales colocados entre el simulador sísmico y la base del módulo. Los resultados de este ensayo no destructivo demostraron que el desacople de la estructura de albañilería del cimiento permite la disipación del movimiento de este en la estructura. De este modo, se mejora el funcionamiento sismo-resistente del módulo de albañilería

Asimismo, realizaron ensayos estáticos para calcular el coeficiente de fricción entre los materiales analizados (Radhikesh P. Nanda, et. al., 2016, 3). Para esto, se hicieron vaciados de hormigón en moldes verdes, donde por uno de sus lados, y aún el hormigón fresco, se colocó una lámina del material. Se crearon dos moldes con una cara de cuarzo, y demás moldes con láminas de caucho, geosintético y poliestireno.



Figura 3 Ensayo Estático (Fuente: Radhikesh P. Nanda, et. al., 2016, 3)

La figura 3 muestra el ensayo estático realizado, el cual fue hecho con los moldes verdes de hormigón, una gata hidráulica, un compresor axial, una base metálica y un soporte metálico. Los moldes de hormigón trabajados, son colocados de manera que las capas de materiales en una de sus caras, estén en contacto. La gata hidráulica se usa para generar la fuerza que permita que deslice una capa de material respecto a otra. El compresor axial y el soporte metálico emperrado en el suelo se usan para mantener inmóvil el molde superior y así permitir el desarrollo del ensayo. Finalmente, la base metálica se fija al suelo mediante pernos para impedir su movimiento y se emplea también para dar la altura requerida.

El comportamiento que generó disipación de energía en el ensayo dinámico fue debido al contacto de los siguientes materiales: cuarzo y cuarzo, cuarzo y geosintético, y cuarzo y poliestireno. De acuerdo a los resultados del ensayo estático (figura 3), el coeficiente de fricción de estos materiales se encuentra en el intervalo <0.05, 0.15>. De este modo, se dispone de un intervalo de coeficientes de fricción que caracteriza un comportamiento que provoque disipación de energía sin ocasionar daños.

1.4. Concepto de “Potencial Destructivo”

El Potencial Destructivo es un parámetro que representa la magnitud de daño de un movimiento sísmico y hay una expresión matemática para calcularlo. Araya y Saragoni presentaron por primera vez el concepto del Potencial Destructivo en su investigación titulada Earthquake Accelerogram Destructiveness Potential Factor (s/a: 1-2). El Potencial Destructivo fue creado para mejorar la “Intensidad de Arias”, la cual no presentaba una buena correlación cuando se examinaba un conjunto representativo de eventos sísmicos.

A continuación se presentan las ecuaciones necesarias para el cálculo del Potencial Destructivo.

$$P_D = \frac{I_A}{v_0^2} \dots\dots\dots [Ecuación 2]$$

Donde:

- P_D : Potencial Destructivo
- I_A : Intensidad de Arias
- v_0 : Frecuencia de cruces por cero (hz)

La intensidad de Arias " I_A " fue definida por Arias en su investigación titulada “A Measurement of Earthquake Intensity” publicada en el Instituto de Tecnología de Massachusetts en marzo de 1969 (Araya y Saragoni, s/a: 1:3). La ecuación para calcular la Intensidad de Arias fue usada para caracterizar el daño causado por movimientos sísmicos y se presenta a continuación:

$$I_A = \frac{2\pi}{g} * \sum a_{(t)}^2 * \Delta t \dots\dots\dots [Ecuación 3]$$

$$w_a = \sum a_{(t)}^2 * \Delta t \dots\dots\dots [Ecuación 4]$$

Donde:

I_A	:	Intensidad de Arias
$a_{(t)}$:	Aceleración en el instante "t"
Δt	:	Variación de tiempo
w_a	:	Energía total del evento sísmico - Saragoni

La frecuencia de cruces por cero " v_o " representa la cantidad de veces que en el acelerograma hay un cambio de signos de la aceleración en cada segundo. El valor de " v_o " resulta de la división del número total de cruces por cero y el tiempo total de duración del movimiento de la edificación analizada. (Araya, Saragoni, s/a: 1:3) Araya y Saragoni demostraron que el comportamiento de una estructura es inversamente proporcional a " v_o^2 " (ver ecuación 2). Saragoni introdujo el factor w_a , el cual representa la energía liberada en todo el evento sísmico (ecuación 4). Este valor puede ser calculado por medio de una base de datos con las aceleraciones en cada momento.

A su vez Saragoni, Astroza y Ruiz, todos investigadores de la Universidad de Chile, presentaron uno de sus trabajos relacionado directamente con la aplicabilidad del Potencial Destructivo. Esta presentación fue hecha en la 14th *World Conference on Earthquake Engineering* realizado en la ciudad de Beijing, China. El objetivo fue demostrar la validez del Potencial Destructivo y su metodología, la comparación con los valores de intensidad MSK. La escala de intensidad MSK es usada para evaluar la fuerza de los movimientos de tierra. Esta escala consiste en los efectos destructivos en las construcciones humanas y en el cambio de aspecto del terreno, así como en el grado de afectación de la población. Por ejemplo según la investigación mencionada, el sismo ocurrido en Perú en 2001 fue más destructivo en Moquegua que en Arica. Esto pues, la intensidad MSK medida en Moquegua fue 7.5, mientras que la medida en Arica fue 6.5. Asimismo, los Potenciales Destructivos calculados en las mismas zonas fueron $50 * 10^{-4} g.s^3$ y $22 * 10^{-4} g.s^3$ respectivamente, guardando la misma relación de los resultados con la intensidad MSK (Saragoni, Rodolfo et al., 2008: 1-8). Esta correlación de resultados entre los resultados de intensidad MSK y los cálculos de Potencial Destructivo se repitió con todos los sismos analizados. Por lo tanto, se concluye que la técnica de Potencial Destructivo es la más adecuada para comparar la intensidad de daño de movimientos sísmicos sin depender de la subjetividad o apreciación de daños.

Capítulo 2. Experiencias previas de proyectos relacionados

2.1. Evaluación del refuerzo de drizas

Según Sosa y Soto (2014) el refuerzo externo con driza de un módulo de tierra dañado y reparado tras sismos anteriores, es adecuado para impedir su colapso ante otro movimiento sísmico. Se desarrolló la investigación titulada “Reparación de Muros de Construcciones Históricas de Tierra Mediante el Sellado de Fisuras y Refuerzos Estructurales Adicionales”. Esta investigación estuvo dirigida a evaluar el tipo de refuerzo que un módulo de tierra reparado por fisuras de sismos anteriores necesita para no colapsar durante nuevos sismos. Para esto, se efectuaron dos etapas en los ensayos; la primera para generar daño en el módulo de tierra sin refuerzos, y la segunda para evaluar el refuerzo de sogas sintéticas colocadas ante nuevos movimientos sísmicos.

Para la primera etapa, el módulo de tierra fue ensayado en el simulador sísmico hasta que aparecieran las primeras fisuras en los muros. La señal sísmica evaluada fue la registrada en Lima del terremoto en Ancash del 31 de mayo de 1970. Se aplicaron 2 fases de desplazamiento máximo en el simulador sísmico de 30mm y 60mm. Luego, las fisuras que aparecieron en los muros, fueron reparadas con inyección de barro, pintadas externamente para identificarlas, y los muros fueron reforzados externamente con sogas sintéticas también llamadas drizas.

Para la segunda etapa, destinado a evaluar el refuerzo con driza, aplicaron 5 fases de desplazamientos máximos en la mesa vibradora de 30, 60, 90 y dos de 130mm. La primera fase representa un sismo leve; mientras que la 4ta y 5ta fase, a un sismo muy fuerte. De este modo, se espera mediante la secuencia de simulaciones sísmicas descritas, conseguir los máximos esfuerzos en el módulo de tierra y analizar su comportamiento junto al refuerzo de driza.

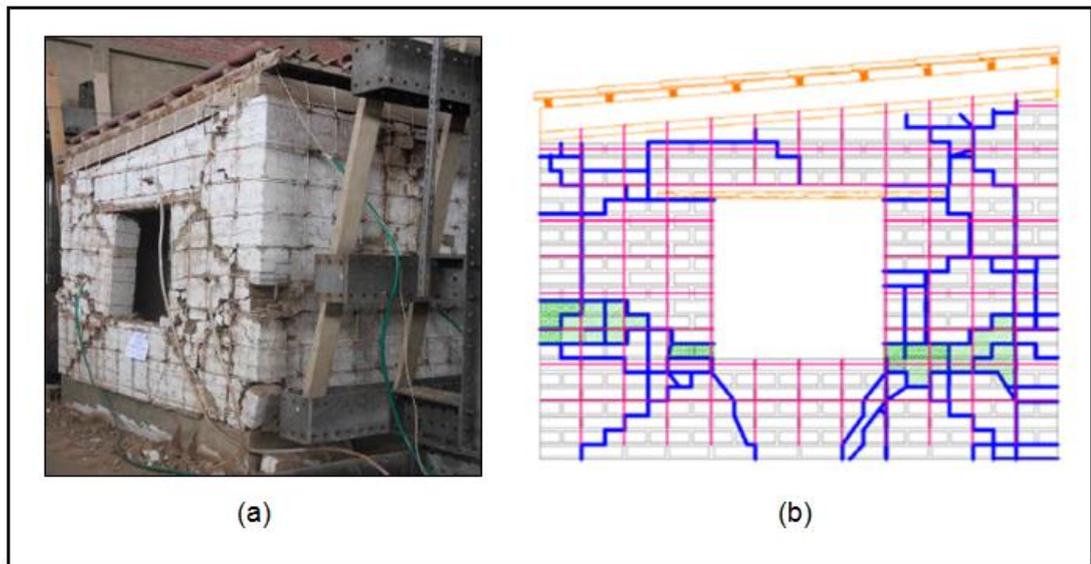


Figura 4 Esquema de fisuras y vista general del estado del módulo de adobe después de la última fase del ensayo. (Fuente: Sosa et al., 8, 2014)

La figura 4 muestra el resultado del módulo de tierra reforzado con driza tras el ensayo dinámico y esquema de fisuras. La imagen (a) muestra el estado del módulo de tierra reforzado con driza después de la 4ta fase. Como se observa, la driza impide el colapso del módulo de tierra. En la imagen (b) se muestran las fisuras creadas después de la 5ta fase. Como se observa, la driza permite la distribución de fallas en todo el muro del módulo de tierra.

La investigación de Sosa y Soto culminó con la 4ta fase; sin embargo, decidieron replicar la última fase con el fin de averiguar cuál sería el estado del módulo de tierra con refuerzo de driza. Después de la 5ta fase, como lo muestra la figura 4 – imagen (b), las fallas fueron controladas y distribuidas en todo el muro. De este modo, comprobaron que la driza es efectiva para impedir el colapso total de un módulo de tierra de un nivel de altura, aún reparado o dañado por sismos anteriores.

2.2. Caral y el Sistema constructivo sismorresistente mediante Shicras rellenas con piedras

Caral* sitio arqueológico declarado como Patrimonio Cultural de la Humanidad por UNESCO está ubicada, según la norma RNE E.030 Diseño Sismorresistente, en la zonificación sísmica 4. Esto significa que se encuentra en una zona donde ocurren los movimientos sísmicos más fuertes en todo el Perú (El Peruano, 2016: 576319). Pese a esto, las construcciones piramidales se han conservado sin colapso y han sido adoptadas como patrimonio mundial de la humanidad.

Distintas investigaciones entre los valles de Casma y Lurín han hallado shicras rellenas con piedras como núcleo de las construcciones de tierra (Asencios, 2008: 86). Las shicras son bolsas tejidas con mallas de soguillas a las que rellenaban con piedras. Fueron creadas con materiales locales y accesibles. Esto permitió que fueran utilizadas por distintas generaciones posteriores a Caral, a lo largo de la costa peruana. Alrededor de 400 km de longitud abarcó el uso de shicras rellenas con piedras como cimentación de las construcciones masivas.

Los investigadores Vargas, Iwaki y Rubiños afirman en su investigación titulada “Sismo Resistencia en las Entrañas de Caral”, que el sistema constructivo con shicras rellenas con piedras sirvió para dar estabilidad a los núcleos de las construcciones piramidales (2012). Según esto, este sistema constructivo puede ser efectivo para la disipación de energía sísmica y en ese caso, lo convierte en sismorresistente para construcciones masivas.

* La Ciudad Sagrada de Caral es un sitio arqueológico de 5.000 años de antigüedad que abarca 626 hectáreas. Está emplazado en una meseta desierta y árida que domina el valle del río Supe (...). La ciudad, excepcionalmente bien preservada, es impresionante por la concepción y complejidad de sus elementos arquitectónicos y espaciales (...) su arquitectura, monumental a la vez, comprende seis grandes estructuras piramidales (Unesco, WHC).

2.3. Investigación sobre atenuación de aceleraciones con Shicras rellenas con piedra en una construcción piramidal

Motivado por conocer acerca del sistema sismorresistente de las pirámides de Caral, Fukuyama, Fujisawa, et. al., realizaron la investigación “Shaking Table Test on Seismic Response Properties of ‘Shicras’, Stones Wrapped in Vegetable Fiber Bags” Fueron, entre otros investigadores del sistema constructivo en Caral, los primeros en publicar su investigación. Esta investigación tuvo como objetivo analizar el comportamiento dinámico que las shicras rellenas con piedras generan como cimentación (2014: 526-531). Para esto, la masa de la estructura fue simulada por una plancha de metal de peso 1tn; bajo la cual se colocaron la agrupación correspondiente de shicras rellenas con piedra. De este modo, para el análisis, se omiten las propiedades dinámicas de la estructura y solo se analiza el comportamiento generado por las shicras rellenas con piedra.

En los ensayos dinámicos se analizaron los comportamientos de distintas agrupaciones de shicras rellenas con piedras. Se analizaron hasta tres niveles de shicras rellenas de piedras superpuestas unas a otras como cimentación. De este modo, obtuvieron tres comportamientos distintos. El primer resultado, ensayo con 1 nivel de shicras rellenas con piedras como cimentación, demostró amplificaciones de las aceleraciones del simulador sísmico. El segundo resultado, ensayo con 2 niveles de shicras rellenas con piedra, demostró un comportamiento relativamente similar con algunas disipaciones de las aceleraciones del simulador sísmico. Finalmente el tercer resultado, ensayo con 3 niveles de shicras rellenas con piedras, demostró amplificaciones mayores de las aceleraciones del simulador sísmico. Estos resultados revelaron que la mejor agrupación de shicras rellenas con piedra para la disipación de energía sísmica son las de 2 niveles (Fukuyama 2014: 526 - 531). Asimismo se verifica el conocimiento aplicado por los habitantes de Caral para construir edificaciones masivas de tierra sismo-resistentes.

2.4. Investigación sobre disipación de energía con el uso de shicras rellenas con piedras como sobrecimiento en muros de tierra.

El MVCS inició la investigación “Estudio de Aislamiento Sísmico de Viviendas Rurales Mediante Sobrecimientos con Shicras” en Septiembre del 2016, en proceso de publicación. Se ensayaron 12 edificaciones de tierra construidas sobre distintas combinaciones de shicras rellenas con piedras. La investigación del MVCS consistió en identificar el sobrecimiento que disipe mayor energía sísmica; por esto, existieron dos tipos de ensayos: estático y dinámico. Para esta investigación solo se trabaja con la información del ensayo estático. Asimismo, en adelante se refiere a esta investigación como “proyecto del MVCS.”



Figura 5 Presentación de muros de adobe pintados con Temple blanco (Fuente: Estudio de Aislamiento Sísmico de Viviendas Rurales mediante Sobrecimientos con Shicras. MVCS, 2017. En proceso de publicación)

En la figura 5 se observan los 12 muros de tierra reforzada que fueron analizadas: 6 de tamaño $1.20 \times 1.20 \text{ m}^2$ y 6 de $0.70 \times 0.70 \text{ m}^2$ (medidas respecto al nivel del suelo), y ancho 0.25 m , los cuales fueron reforzados con driza. Los muros pequeños, fueron expuestos al ensayo estático no destructivo.

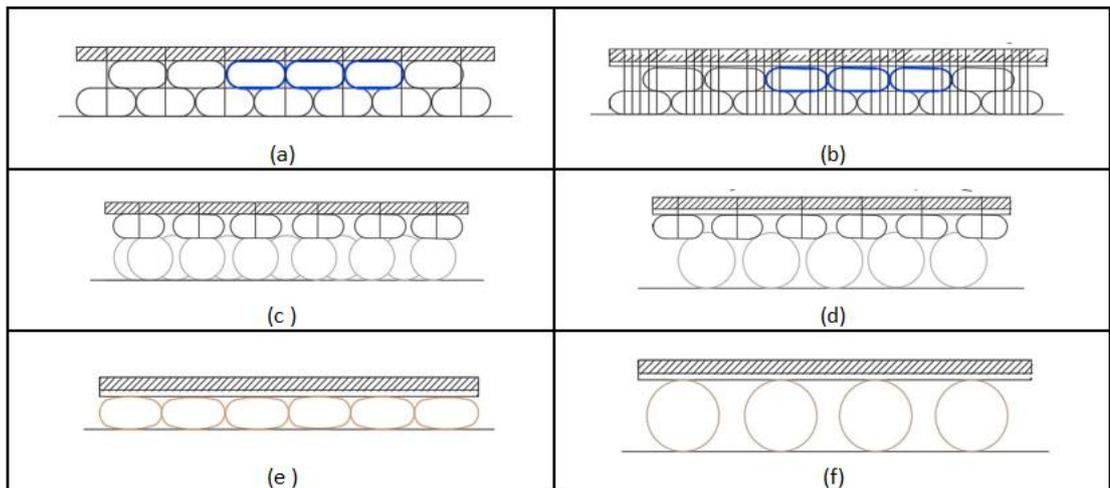


Figura 6 Modelo de sobrecimientos evaluados en el Proyecto MVCS (Fuente: MVCS, sin publicación).

La figura 6 muestra todos los sobrecimientos analizados. A continuación se describe la composición de materiales de cada uno de los sobrecimientos. En la imagen (a), se observan shicras rellenas con piedras chancada de tamaño mayor a $3/4''$, y una viga collar de madera. Las shicras están sujetas a la viga collar de madera mediante drizas que las ajustan verticalmente. El sobrecimiento en la imagen (b) es una

variante del que aparece en la imagen (a), pues este emplea una lámina de triplay y una mayor cantidad de drizas para sujetar las shicras a la viga collar de madera. En la imagen (c) se aprecian piedras cuyo diámetro varía entre 4 a 6” colocadas dentro de shicras, shicras rellenas con piedras chancadas de tamaño menor a 3/4 “, y la viga collar de madera. La imagen (d) muestra una variación del sobrecimiento de la imagen (c), las piedras son de tamaño 5 a 7” que están dentro de shicras como primera capa y además, el uso de una lámina de triplay bajo la viga collar de madera. La imagen (e) muestra una capa de shicras esféricas, las cuales estuvieron cubiertas por bolsa de malla de pescador, y el uso de la lámina de triplay bajo la viga collar de madera. Las shicras esféricas son el resultado de colocar verticalmente una piedra angular plana dentro de una bolsa de malla industrial y rellenar la bolsa con moños para cabello rellenos con piedras menores a 3/4“. Finalmente, la imagen (F) muestra el sobrecimiento conformado solo por piedras de 10 a 12”, sin shicras y la lámina de triplay bajo la viga collar de madera.

El tipo de ensayo estático permite identificar el sobrecimiento que opone menor resistencia para que el muro de tierra se desplace con respecto a él. El coeficiente de fricción (u), el que se obtiene con este tipo de ensayo, representa una característica esencial para favorecer la disipación de energía sísmica. Según esto, cada sobrecimiento está identificado por su coeficiente de fricción. Los resultados del ensayo son mostrados a continuación:

Tabla 2 Coeficiente de fricción de los sobrecimientos y muro de tierra – Referencia: Figura 6

Referencia de Sobrecimiento	U
Imagen (a)	0.53
Imagen (b)	0.62
Imagen (c)	0.37
Imagen (d)	0.32
Imagen (e)	0.54
Imagen (f)	0.13

*MVCS, en proceso de publicación.

Se muestra en la tabla 2 los coeficientes de fricción de cada uno de los sobrecimientos en contacto con las construcciones de tierra vistos en la Figura 6. Según estos valores, el muro de tierra con sobrecimiento conformado sólo por shicras rellenas con piedras requiere de hasta 62% de su peso en fuerza para desplazarse respecto al suelo.

Capítulo 3. Planteamiento del problema

3.1. Objetivos

3.1.1. Objetivo General

- Obtener un tipo de sobrecimiento, en el que se usen shicras, piedras y otros materiales accesibles como canicas, tacos de madera, platinas o rollizos de madera, que disminuya el daños sísmico (fisuras) en los muros de tierra reforzada.

3.1.2. Objetivos Específicos

- Analizar el coeficiente de fricción entre el sobrecimiento y el muro de tierra.
- Analizar el Potencial Destructivo que reciben los muros.

3.2. Alcance

- Esta investigación ha sido pensada con destino para una vivienda rural de un nivel (un piso). Por esto, el alcance de la investigación está dirigido a todo el territorio peruano.

3.3. Hipótesis

- Muchos de los pobladores de las zonas donde se emplea el refuerzo de driza en construcciones de tierra, juzgan la funcionalidad del mismo en base a las fisuras que aparecen en los muros de tierra a causa de movimientos sísmicos.
- Las casas de adobe o tapial que no han colapsado después de sismos o terremotos, son demolidas por la presencia de fisuras.
- Las shicras rellenas con piedras utilizadas como sobrecimiento de muros de tierra, disipan la energía sísmica que reciben los muros.
- Es posible optimizar el sistema constructivo con shicras rellenas con piedras, en bien de la durabilidad de la construcción de tierra y consiguiente bienestar de los futuros usuarios.

Capítulo 4. Metodología

Esta es una investigación complementaria al “Estudio de Aislamiento Sísmico de Viviendas Rurales Mediante Sobrecimientos con Shicras” De esta última investigación, después del ensayo no destructivo con los 6 muros de tierra, fueron reutilizados junto a los ensambles de shicras creados durante el proyecto mismo. Se añaden materiales, bajo los ensambles de shicras, para aumentar la disipación de energía a través del desplazamiento. Los nuevos materiales que se utilizan son piedras de ½ “, calamina, laminas de triplay, canicas y tacos de madera.

A los 6 muros se les hacen 2 tipos de ensayos: Carga cíclica horizontal y Simulación sísmica. El ensayo de carga cíclica horizontal, también llamado ensayo estático, consiste en registrar el desplazamiento y la fuerza que se produce y aplica en el muro de ensayo. Para esto, el cimiento o viga de apoyo está impedido de movimiento como se observa en la figura 40. El ensayo de simulación sísmica se hace por medio de un simulador sísmico sobre el cual están apoyados los muros; de este modo, se registra el comportamiento de cada muro durante las pruebas. A continuación se muestran las consideraciones que se tuvieron para obtener los distintos tipos de shicras y los ensambles de shicras que se usaron en el proyecto del MVCS. Asimismo se muestran los Nuevos Prototipos de Sobrecimiento Aislante, las pruebas para el control de suelo para los muros de tierra y un mejor detalle de los ensayos realizados.

4.1. Tipos de shicras y bolsas enmalladas utilizadas en el Proyecto del MVCS

Las shicras son el resultado de tejer a mano bolsas. Se reutilizan las shicras del Proyecto del MVCS, proyecto para el cual se usaron los siguientes materiales para tejerlas: driza blanca, malla de nylon.y malla de pescador. A continuación se detalla la designación de cada tipo de shicra, así como el procedimiento de tejido optado.

4.1.1. Shicra de driza blanca

La driza blanca es un material de acceso nacional. Esta afirmación es hecha con referencia a la ciudad de Puno. Para tejer cada shicra se utilizó un bastidor de madera con clavos en sus bordes y driza de 5/32“, como se observa en la figura 7.

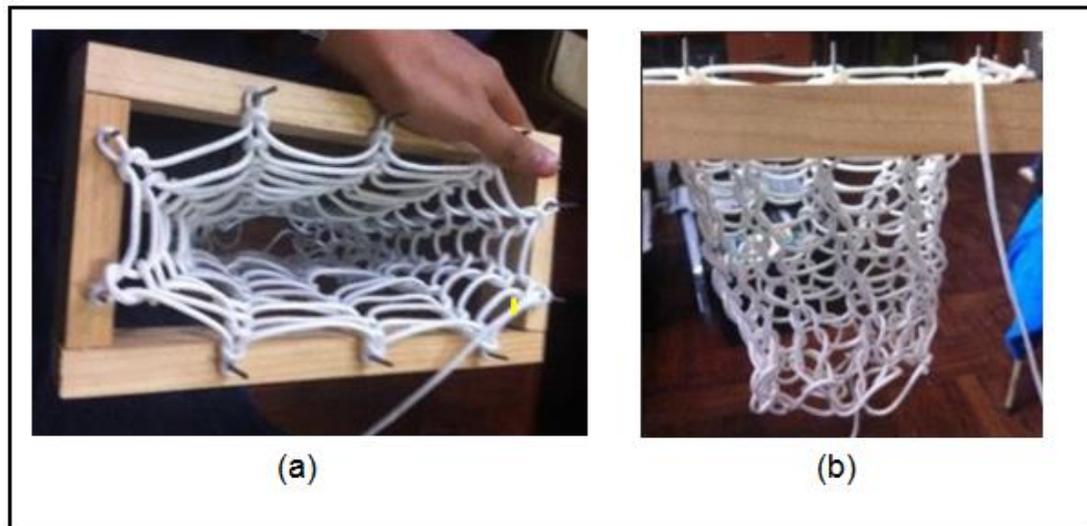


Figura 7 Tejido de shicra clase 1 (Fuente: MVCS, 2017. En proceso de publicación)

La figura 7 muestra dos vistas de un mismo tejido de shicra con driza blanca, por medio de un bastidor de madera. La imagen (a) muestra que el tejido se realiza desde la zona interna del bastidor y consiste en entrelazar la cuerda en forma consecutiva. La imagen (b) muestra la forma cilíndrica que adopta el tejido a medida que este continúa.



Figura 8 Bastidores de madera (Fuente: Proyecto Estudio de Aislamiento Sísmico de Viviendas Rurales Mediante Sobrecimientos con Shicras, 2017. En proceso de publicación)

En la figura 8 se observa dos tamaños distintos de bastidores de madera. Por medio de las shicras tejidas con estos bastidores, se puede contener piedras más grandes que otras. Asimismo, se evidencia que es posible variar el tamaño de las shicras de acuerdo a los requerimientos necesarios según el tamaño de las piedras que se disponga.



Figura 9 Shicra de driza blanca (Fuente: Proyecto Estudio de Aislamiento Sísmico de Viviendas Rurales Mediante Sobrecimientos con Shicras, 2017. En proceso de publicación)

En la figura 9 se observa la shicra concluida que proviene del bastidor de madera visto en la figura 7. Esta shicra posee aberturas mayores a 1", por lo que en ella no se podrá colocar piedras menores a ese diámetro. En caso se requiera colocar piedras menores a 1", será necesario otro refuerzo interno que las contenga primero.

4.1.2. Bolsa de malla negra de pescador

La malla negra de pescador se vende en grandes proporciones en los mercados y muelles, se la vende en toda la zona costera del país, lo que la hace fácil de encontrar en mercados. Asimismo, al poseer aberturas menores a $\frac{1}{2}$ ", puede contener piedras pequeñas mayores a esa medida. Debido a que es posible contener piedras pequeñas con la malla de pescador, se pretende crear bolsas con este material para usarlo junto a la shicra de driza blanca.



Figura 10 Tejido de Shicra de malla negra de pescador (Fuente: Proyecto Estudio de Aislamiento Sísmico de Viviendas Rurales Mediante Sobrecimientos con Shicras, 2017. En proceso de publicación)

En la figura 10 – imagen (a) se muestra que para cortar la malla negra de pescador, una vez extendida en un área libre como fue el patio del Laboratorio de Estructuras, fue necesario el traslado del tamaño necesario mediante un costal blanco. Asimismo en la figura 10 – imagen (b), el tamaño final del recorte doblado y tejido por 2 extremos consecutivos debe ser mayor o igual al de la shicra de driza blanca. Por otro lado,

esta bolsa no reúne las características para ser considerada como shicra, por ser industrial.

4.1.3. Shicra de nylon

El “moño para cabello” se vende en todos los mercados a nivel nacional. Estos aditamentos son tejidos generalmente con nylon de pasamanería. Se usa el tamaño de abertura menor a $\frac{1}{4}$ ” de este moño, figura 11, para contener piedras pequeñas, en caso sea las que dispongan los constructores.

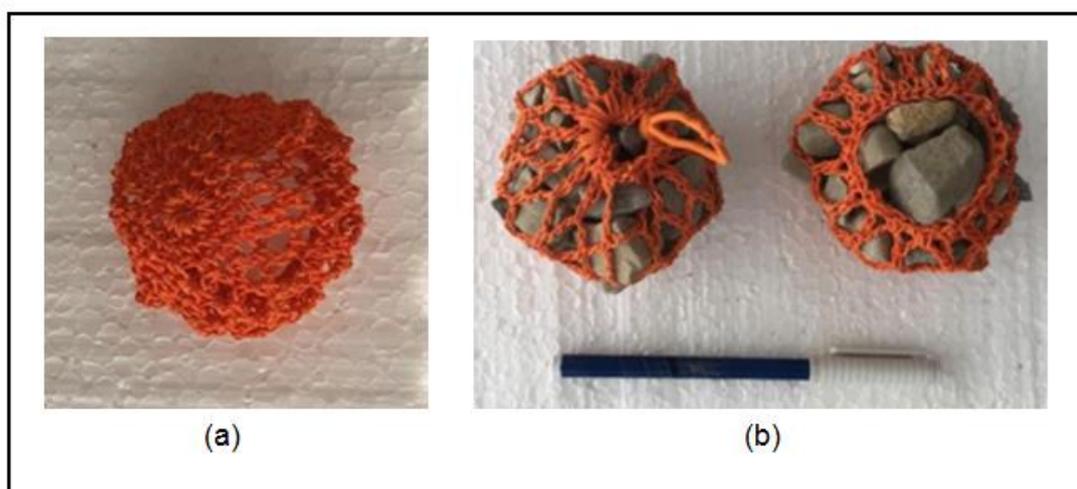


Figura 11 Shicra de nylon (Fuente: Proyecto Estudio de Aislamiento Sísmico de Viviendas Rurales Mediante Sobrecimientos con Shicras, 2017. En proceso de publicación)

En la figura 11 – imagen (a) se muestra la shicra de nylon, la cual se teje y vende también con lana o hilos. Esta variedad de materiales no afecta la funcionalidad de contención de piedras pequeñas. Además, como se observa en la figura 11 – imagen (b), el tamaño final de estos aditamentos rellenos con piedras son pequeños y menores al tamaño de un lapicero. Esta característica será utilizada para rellenar espacios pequeños y dar estabilidad a elementos del sobrecimiento.

4.2. Ensamble de shicras utilizadas en el proyecto del MVCS

Para reconocer a cada elemento, se denomina como “Ensamble de Shicra” al elemento que está hecho por lo menos con una shicra y piedras. Estos elementos fueron creados y son reutilizados del proyecto del MVCS. A continuación son presentados los tipos de ensambles de shicras:.

4.2.1. Ensamble de shicras Elíptica

Se utilizan la shicra de driza blanca y la bolsa negra de malla de pescador para contener piedras mayores a $\frac{1}{2}$ ". Como se observa en la figura 12, la bolsa negra es contenida por la shicra de driza blanca.



Figura 12 Construcción del Ensamble de Shicras Elíptica (Fuente: Proyecto Estudio de Aislamiento Sísmico de Viviendas Rurales Mediante Sobrecimientos con Shicras, 2017. En proceso de publicación)

La figura 12 muestra el procedimiento de elaboración del ensamble de shicra elíptica. La imagen (a) muestra la comparación de la shicra de driza blanca con la bolsa negra de pescador. Nótese que los tamaños de ambas bolsas son similares. La imagen (b) muestra el resultado de introducir la bolsa negra dentro de la driza blanca. Las imágenes (c) y (d) muestran el procedimiento de llenado con piedras chancadas mayores a $\frac{1}{2}$ ". Finalmente, en la imagen (e) se observa la forma elíptica final del elemento creado.

4.2.2. Ensamble de shicras Esférica

El concepto por el que este ensamble de shicras fue creado fue para darle una forma final esférica. De este modo, teóricamente el muro rodaría sobre estos ensambles de shicras ante movimientos sísmicos. Para que esto suceda, se usó shicra de driza blanca, shicras de nylon rellenas con piedras y una piedra angular plana. En este proyecto se usa shicra de driza blanca para contener a todos los demás elementos, ver figura 13 - imagen (d).

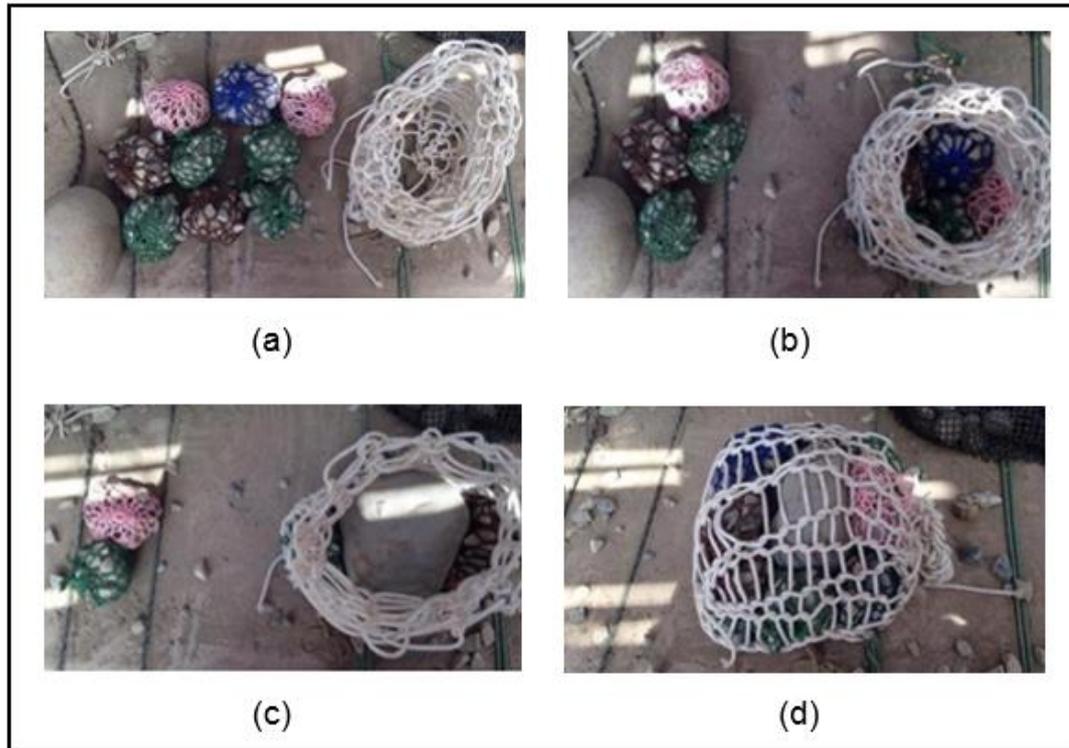


Figura 13 Construcción de Ensamble de Shicra Esférica

La figura 13 muestra el procedimiento de elaboración del ensamble de shicra esférica. A continuación se explica, mediante imágenes, la elaboración paso a paso de este ensamble de shicra. En la imagen (a) se observa la totalidad de elementos para la creación de este ensamble de shicra. Estos elementos son shicra de driza blanca, shicras de nylon rellenas con piedras y piedra angular plana. En la imagen (b) se observa que 4 shicras de nylon rellenas con piedras se colocan en el fondo de la shicra de driza. En la figura (c) se observa que la piedra angular plana se coloca sobre las anteriores shicras de nylon, para luego colocar más de estas sobre la piedra. Finalmente, como lo muestra la figura (d), el ensamble de shicra obtenido adopta una forma elipsoidal.

4.2.3. Ensamble de shicras con piedras de 4 a 6”

Se decide averiguar el comportamiento generado por piedras de tamaño grande, para que junto a las shicras mejoren el comportamiento de muros reforzados ante sismos. Por esto, para conformar el tercer ensamble de shicras se usa la shicra de driza y piedras de 4 a 6” de diámetro, ver figura 14.

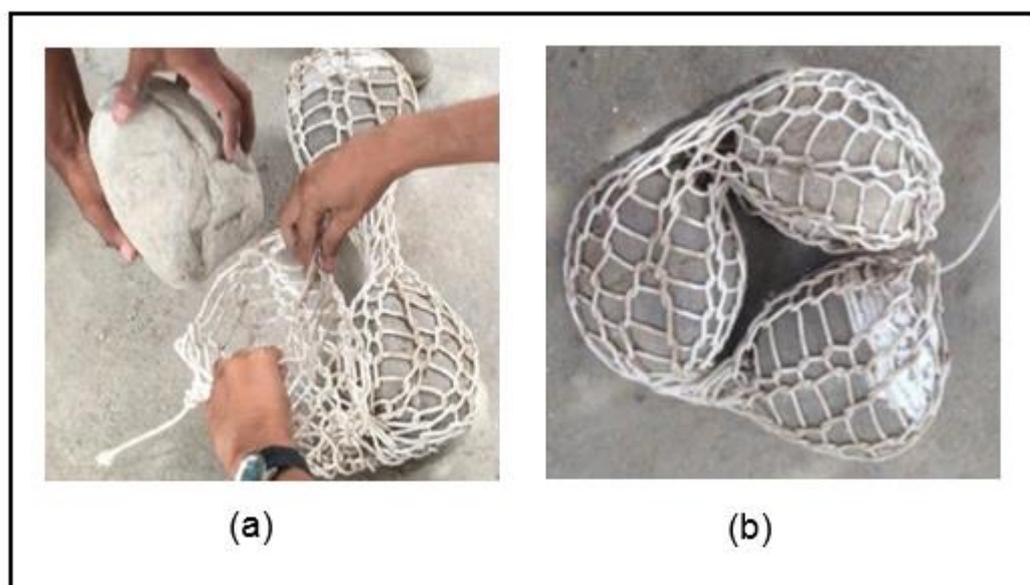


Figura 14 Construcción de Ensamble de Shicra 3 (Fuente: Proyecto Estudio de Aislamiento Sísmico de Viviendas Rurales Mediante Sobrecimientos con Shicras, 2017. En proceso de publicación)

La figura 14 muestra el procedimiento de elaboración del ensamble de shicra con piedras de 4 a 6”. A continuación se explica, mediante imágenes, la elaboración de este ensamble de shicra. En la imagen (a) se observa como deben ser colocadas las piedras dentro de la shicra de driza. Este procedimiento es favorable si trabajan entre dos, constructor y ayudante. En la imagen (b) se observa la forma del ensamble de shicra y distribución final de piedras. La shicra de driza no permite que las piedras se dispersen, originando estabilidad.

4.2.4. Ensamble de shicras con piedras de 5 a 7 “

Se decide averiguar el comportamiento generado por piedras de tamaños mayores, para que junto a las shicras mejoren el comportamiento de muros reforzados ante sismos. Por esto, para conformar este ensamble de shicras se usa la shicra de driza y piedras de 5 a 7” de diámetro, ver figura 15.

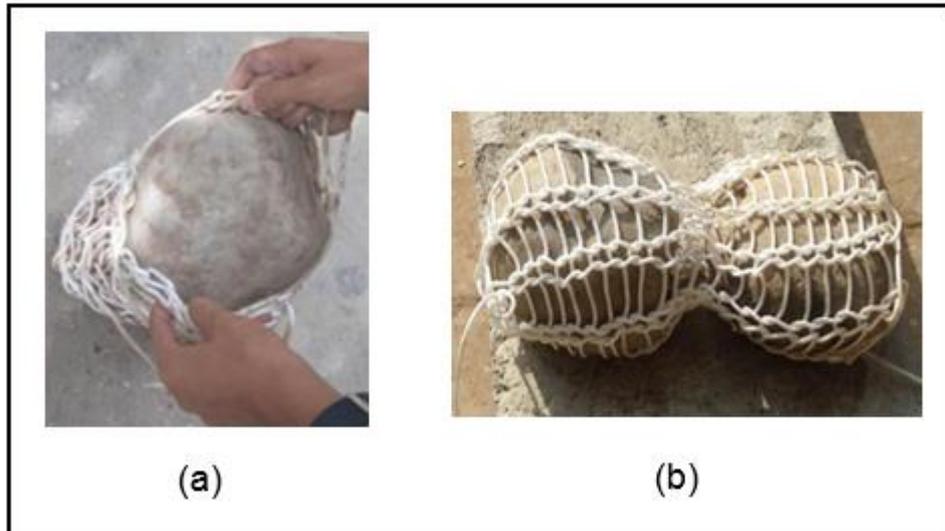


Figura 15 Construcción de Ensemble de Shicra 4 (Fuente: Proyecto Estudio de Aislamiento Sísmico de Viviendas Rurales Mediante Sobrecimientos con Shicras, 2017. En proceso de publicación)

La figura 15 muestra el procedimiento de elaboración del ensemble de shicra con piedras de 5 a 7". A continuación se explica, mediante imágenes, la elaboración de este ensemble de shicra. En la imagen (a) se observa como deben ser colocadas las piedras dentro de la shicra de driza. Este procedimiento es favorable si trabajan entre dos, constructor y ayudante, pues las piedras tienen mayor peso. En la imagen (b) se observa la forma del ensemble de shicra y distribución fina de piedras. A diferencia del ensemble de shicras con piedras de 4 a 6", la cantidad de piedras contenidas en la shicra de driza son 2. Esto debería permitir un mejor acomodo de las piedras al momento de colocarlas como sobrecimiento de un muro de tierra.

4.3. Nuevos Prototipos de Sobrecimiento Aislante

Los Nuevos Prototipos de Sobrecimiento Aislante están conformados por capas. A cada una de ellas, se las enumera desde el cimiento. Los materiales añadidos para mejorar la disipación de energía son usados como las primeras capas de cada sobrecimiento: tales como canicas, piedras, platinas, cubos de madera, drizas y triplay. A continuación se detalla en qué consiste y cómo se fabrican cada prototipo de sobrecimiento aislante.

4.3.1. Primer Prototipo de Sobrecimiento Aislante. Sobrecimiento con piedras de $\frac{1}{2}$ ".

El primer prototipo de sobrecimiento aislante está conformado por piedras de canto rodado de $\frac{1}{2}$ ", 2 láminas de triplay, 2 niveles de ensambles de shicras elípticas y una viga collar de madera. De este modo, se conforman 6 capas. La 1ra capa, está conformada por 39 piedras de canto rodado de 1". Las piedras de canto rodado se encuentran y pueden recolectar cerca de los ríos, riveras, montañas o montes, lo que las hace de alcance nacional. Para su construcción fue considerado a su vez, listones de madera clavados en la viga de concreto, ver figura 16 – imagen (b), para limitar el posible desplazamiento de las piedras.

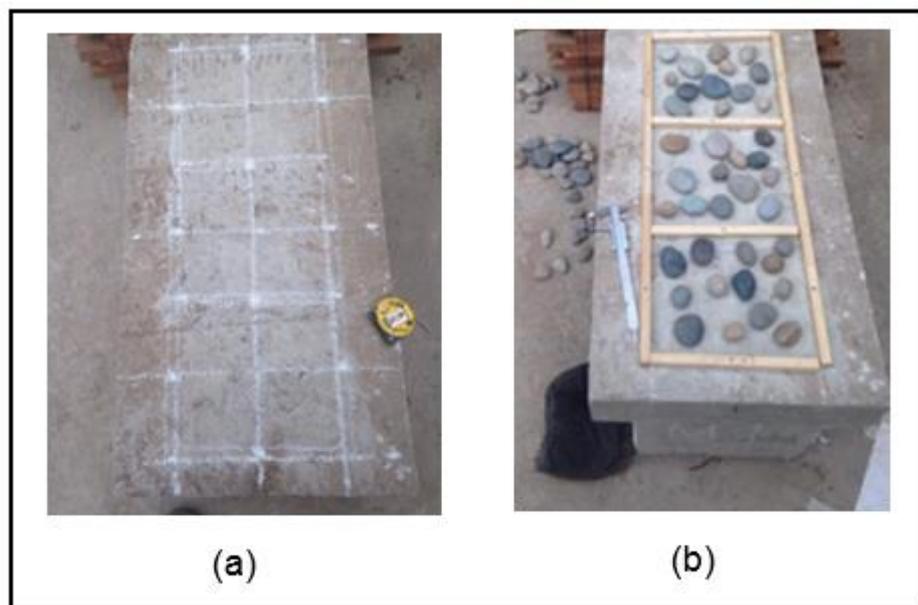


Figura 16 Capa de piedras de canto rodado

En la figura 16 se observa la primera capa del ‘Sobrecimiento con piedras de $\frac{1}{2}$ ” ‘ En la imagen (a) se observa el diseño hecho con tiza para la colocación de los listones de madera. En la imagen (b) se observa la colocación final de los listones de madera, así como la de las piedras de $\frac{1}{2}$ “ de canto rodado. Para seleccionar las piedras finalmente, se usa la herramienta Pie de Rey, la cual permite controlar el tamaño de $\frac{1}{2}$ “ de diseño.

El material empleado para conformar la 2da capa es triplay, la cual es accesible a nivel nacional y se vende por tamaños grandes en ferreterías. Para cortarla, se debe tener referencia las dimensiones del muro de construcción con tierra. Para el ensayo las medidas fueron $0.7 * 0.25 \text{ m}^2$ (largo * ancho), mientras que el espesor fue de $\frac{1}{2}$ “.

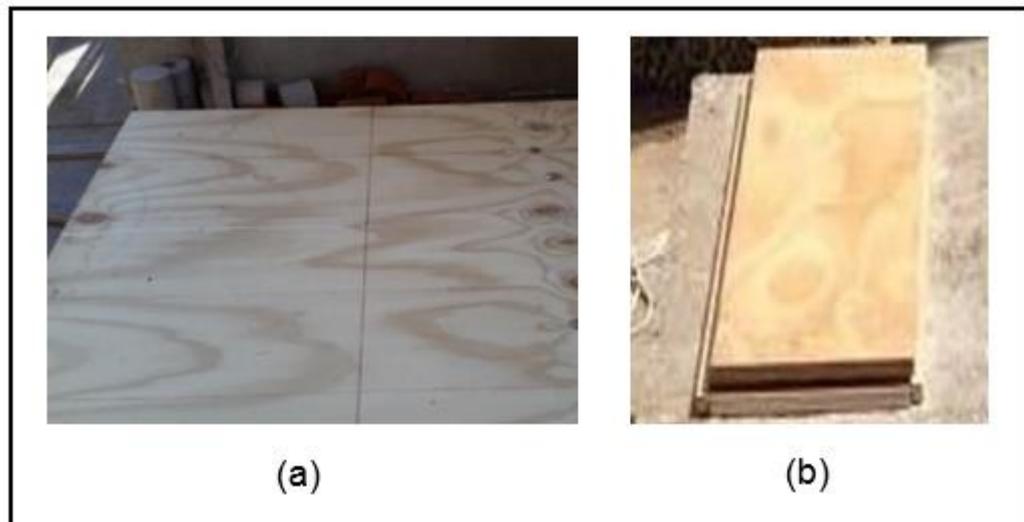


Figura 17 Listones de triplay

En la figura 17 – imagen (a) se observa cómo fue el corte de la lámina de triplay. Se necesitaron una “tira línea” y sierra eléctrica. El primer término es referido a una cuerda completamente manchada con tiza, la cual se tensa sobre la zona que se quiere trazar y luego se suelta. La lámina de triplay obtenida, tras el corte con sierra eléctrica, es utilizada para distribuir el peso de la futura construcción de tierra sobre las piedras y crear un nuevo nivel como se observa en la imagen (b).

La 3era y 4ta capa son ensambles de shicras elípticas, mientras que la 5ta capa es una lámina de triplay. La 5ta capa fue clavada a la 6ta, viga collar de madera, antes de construir la edificación de tierra. Asimismo, la 3era y 4ta capa están sujetas a la 6ta, por medio de drizas transversales. Este arreglo fue ensayado en el proyecto del MVCS. Según esto, al analizar los resultados de esta investigación y ponerlos en contraste, se podrá obtener la mejora causada por los nuevos materiales.

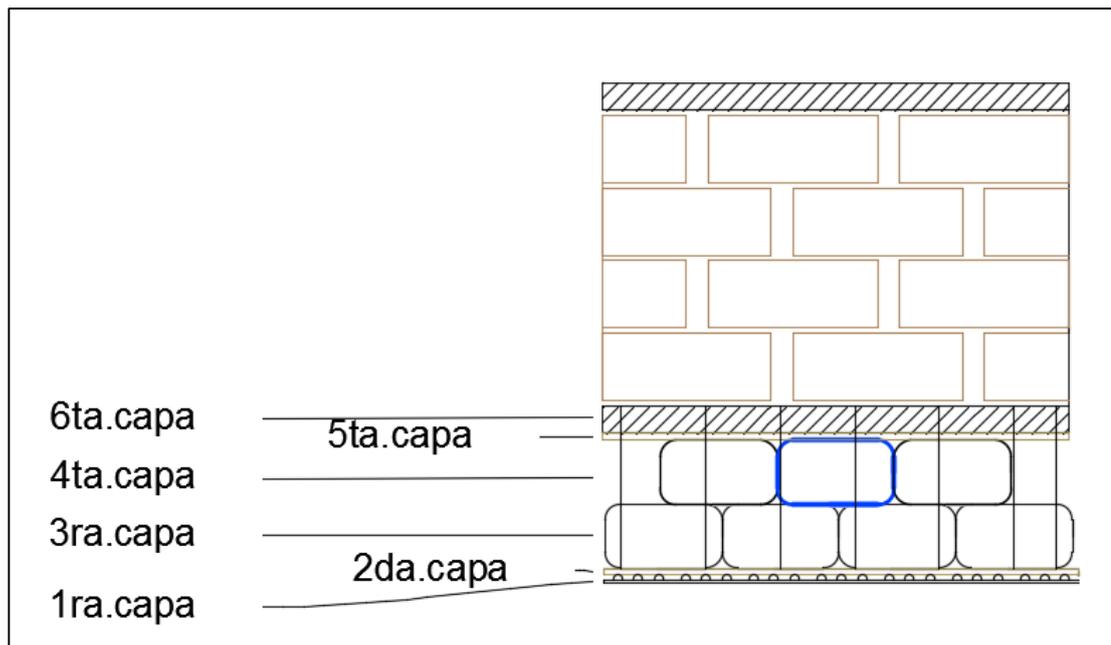


Figura 18 Diseño preliminar del Primer Prototipo de Sobrecimiento Aislante

La figura 18 muestra el modelo del primer prototipo de sobrecimiento aislante, el cual está conformado por 6 capas diferenciadas por el material o elementos que lo conforman. Además, se observan drizas verticales que ajustan la 2da con la 6ta capa. De este modo, se pretende aislar la construcción de tierra junto a los ensambles de shicras del suelo. Este arreglo es hecho con la finalidad de observar el comportamiento generado por la 1ra capa.

Ya que la modificación del sobrecimiento es en las 2 primeras capas, se denomina a este como 'sobrecimiento de ensamble de shicras elípticas con piedras de ½" ' Este nombre permite distinguir los tipos de ensambles de shicras utilizados y los materiales que modifican el comportamiento de estos.

4.3.2. Segundo Prototipo de Sobrecimiento Aislante. Sobrecimiento con Platinas y piedras.

El segundo prototipo de sobrecimiento aislante está conformado por platinas piedras de canto rodado de ½", ensambles de shicras con piedras 5 – 6" y shicras elípticas, una lámina de triplay y una viga collar de madera; de este modo, se conforman 6 capas. La 1ra capa, está conformada por 4 platinas superpuestas y 63 piedras de 1" de diámetro. La 2da capa es una lámina de triplay que crea un nuevo nivel para colocar ensambles de shicras.

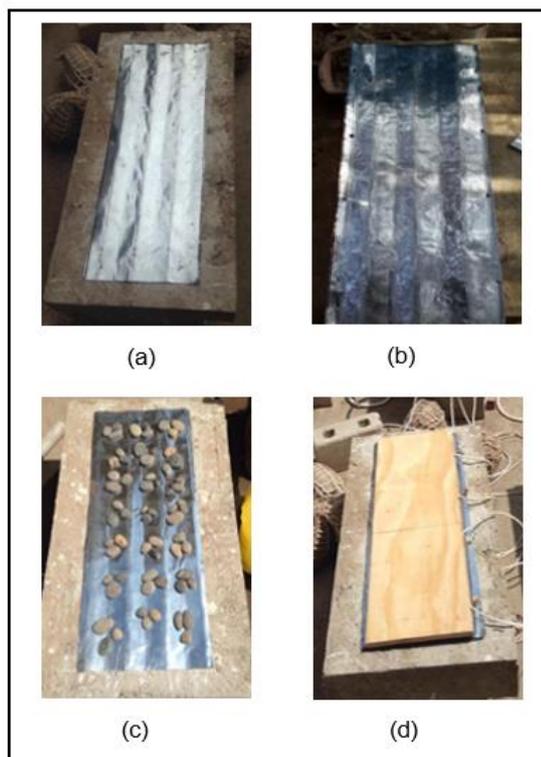


Figura 19 Fabricación y colocación de la 1era y 2da capa del Segundo Prototipo de Sobrecimiento Aislante

En la figura 19 se muestran el detalle de la 1ra y 2da capa del sobrecimiento. La 1ra platina en contacto con la viga de concreto, está fija a ella por medio de clavos (ver imagen (a)) y la 4ta, al muro por medio de drizas. Como se observa en la imagen (b), la platina es agujereada lateralmente para permitir la sujeción de la driza. A su vez, como se observa en la imagen (c), se colocan 63 piedras sobre la 2da platina. Este diseño obedece a una agrupación triangular cada 3 piedras. Finalmente, como lo muestra la imagen (d), después de sujetar la driza por uno de los lados de la 4ta platina, se coloca la lámina de triplay para dar nivel a los ensambles de shicras y distribuir el peso del futuro muro de tierra.

La 3ra capa está conformada por ensambles de shicras con piedras de 5 y 6" de diámetro; La 4ta capa, por ensambles de shicras elípticas, las cuales están sujetas a la 5ta y 6ta capa, lamina de triplay y viga collar de madera, por medio de drizas transversales. El arreglo de estas 4 capas en el orden mencionado, fue ensayado en el proyecto del MVCS. Según esto, al analizar los resultados de esta investigación y ponerlos en contraste, se podrá obtener la mejora causada por los nuevos materiales.

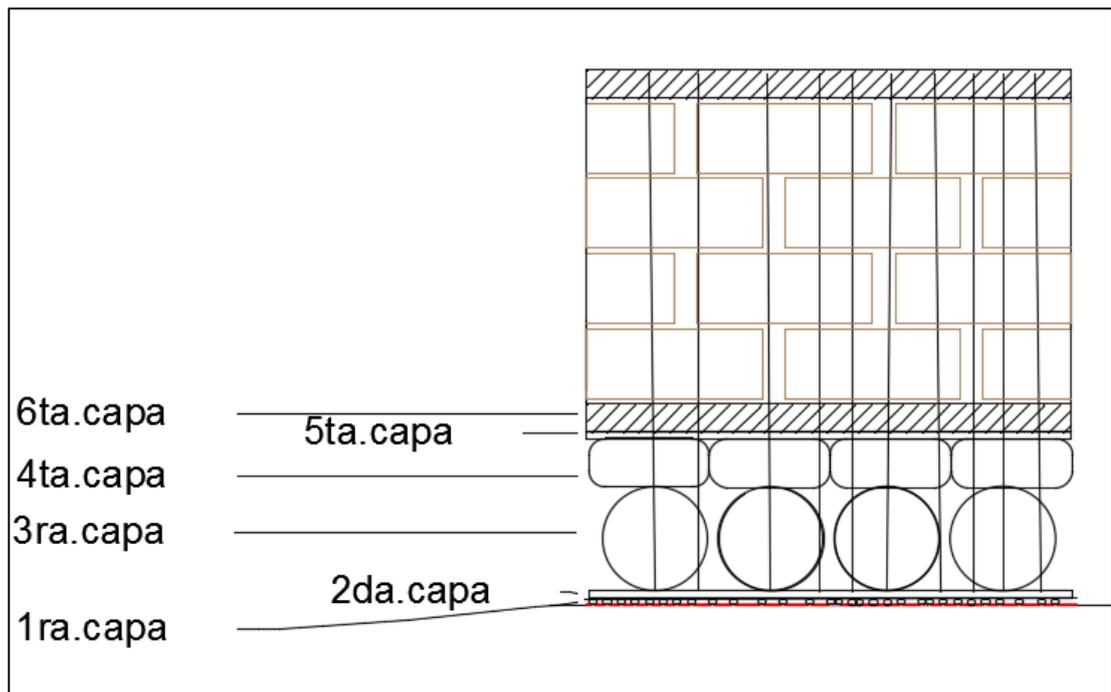


Figura 20 Diseño preliminar del Segundo Prototipo de Sobrecimiento Aislante

En la figura 20 se observa el modelo del segundo prototipo de sobrecimiento aislante, el cual está conformado por 6 capas. Además, se observa el detalle de driza que sujeta la 2da capa con el muro. De este modo, se pretende aislar la construcción de tierra junto a los ensambles de shicras del suelo. Este arreglo es hecho con la finalidad de observar el comportamiento generado por la 1ra capa.

Ya que la modificación del sobrecimiento es en las 2 primeras capas, se denomina a este como 'sobrecimiento de ensamble de shicras con piedras de 6" y shicras elípticas con platinas y piedras. Este nombre permite distinguir los tipos de ensambles de shicras utilizados y los materiales que modifican el comportamiento de estos.

4.3.3. Tercer Prototipo de Sobrecimiento Aislante. Sobrecimiento con canicas y tacos de madera

A continuación es detallado el proceso de investigación para la obtención de la combinación de los nuevos materiales que conforman este sobrecimiento. La canica y los tacos de madera son los nuevos materiales que se agregan al sobrecimiento conformado por ensambles de shicras elípticas.

A. Resistencia de las canicas

Se opta investigar la canica como posible material para ser empleado en el sobrecimiento, por su alcance nacional y su característica de rodadura. Para determinar la cantidad necesaria de canicas por cada unidad de área, sin que estas se dañen, es necesario determinar la resistencia axial de las mismas. Para esto, en la figura 21 se muestra uno de los ensayos de carga axial hasta la rotura de las canicas, que se hizo en el Laboratorio de Materiales de la PUCP.

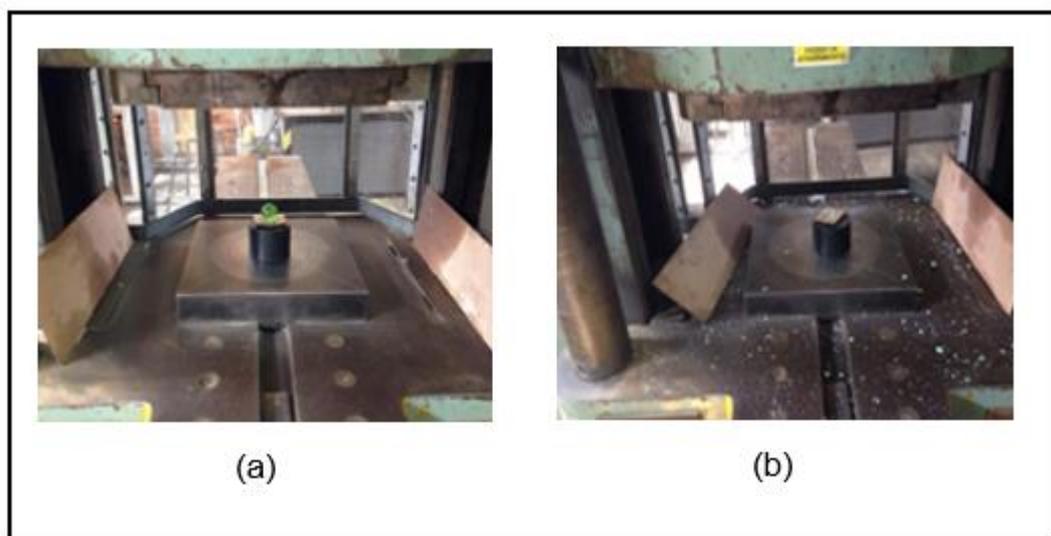


Figura 21 Ensayo de carga axial de canica

En la figura 21 se muestra el ensayo de carga axial que se hizo con 6 canicas en el Laboratorio de Materiales de la PUCP. Como se ve en la imagen (a), el área interna de ensayo fue sellada para impedir que algún trozo de vidrio salga expulsado de la zona de prueba. De esta manera, cada canica fue colocada en la parte central sobre un retazo de cartón antes de iniciar el ensayo. Como se ve en la imagen (b), el resultado del ensayo axial hasta la rotura, pulveriza la canica. Se verifica así el comportamiento frágil del material ensayado. Finalmente, los resultados del ensayo se muestran en la tabla 3.

Tabla 3 Resistencia de las canicas

Número de ensayo	Color	Resistencia (Kgf)	Masa	Masa promedio	Factor de Seguridad	Resistencia de Diseño (Kg)
1	Azul	3220	328	199	2	100
2	Blanco	2060	210			
3	Transparente	3580	365			
4	Verde claro	5140	524			
5	Blanco	2860	292			
6	Verde claro	1840	188			

La tabla 3 muestra el resumen de resultados del ensayo axial realizado. Asimismo se evalúa que el color de las canicas no altera o vincula alguna diferencia de resistencia. De otro modo, para calcular la resistencia se toma en consideración las 2 menores resistencias, con un promedio de masa o carga de 199 Kg. Se decide por un factor de seguridad equivalente a 2, con el cual se empieza el diseño y cálculo de cantidad de canicas con una resistencia de 100Kg.

B. Cálculo de cantidad de canicas

Para que el diseño del sobrecimiento que se obtenga con la distribución de canicas, pueda ser aplicado para cualquier otra construcción de tierra, este debe estar dirigido para una construcción de tierra real. Para esto, la norma correspondiente brinda límites geométricos de muros de tierra (El Peruano, 2017c: 7). Estos son usados en la tabla 4.

Tabla 4 Carga por unidad de área transversal de muro, para una construcción de dimensiones reales

Peso volumétrico de adobe (Kg/m ³)	Altura (m)	Ancho (m)	Largo (m)	Carga por unidad de área (Kg/cm ²)	Resistencia de diseño de canica (Kg.)	Cantidad de canicas por área (und/cm ²)
1700	5	0.80	4	0.85	100	0.0085

La tabla 4 muestra la cantidad de canicas necesarias por cada cm², para que no fallen por aplastamiento al ser parte del sobrecimiento de un muro de tierra. Para esto, el peso volumétrico de adobe fue obtenido de campo. Asimismo, la altura analizada es de 5m, para la cual es necesario un espesor grande de las paredes. Por esto, el ancho equivale a 0.80 m y la longitud de estudio, 4m.

Ya que el ensayo es hecho con dimensiones de muro de tierra, menores a las analizadas, es necesario conocer las medidas para aplicar el diseño de cantidad de canicas. Según esto, se presenta en la figura 22 el modelo de lámina de triplay sectorizado, y en la tabla 5 las dimensiones de cada sector.

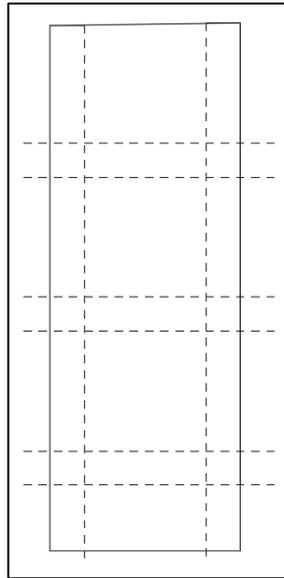


Figura 22 Modelo Preliminar de la sección de triplay y platina, sectorizada.

En la figura 22 se muestra la sectorización de la sección de triplay y platina, donde van a ir colocadas las canicas. Por esto, el diseño de cantidad de canicas será realizado por cada una de las secciones trazadas. De este modo, se podrá controlar que no ocurran fallas por aplastamiento de las canicas.

Tabla 5 Cálculo de cantidad de canicas

Largo (cm)	Ancho (cm)	Área (cm ²)	Cant. Canicas por cálculo	Cant. Canicas escogida
16	4.5	72	0.61	1
4.5	4.5	20.25	0.17	1
16	16	256	2.18	3
8.5	4.5	38.25	0.33	1
8.5	16	136	1.16	2

En la tabla 5 aparecen las dimensiones de los distintos tipos de sectores observados en la figura 22. Asimismo, se hace el cálculo de la cantidad de canicas necesarias en cada uno de estos sectores a fin de controlar el peso de la futura construcción de tierra. Finalmente, el número total de canicas equivale a 28 por cada muro de sección transversal igual a $0.70 \times 0.25 \text{ m}^2$.

C. Investigación preliminar para encontrar relación de materiales friccionantes

Se espera que la canica, al ser un material idealmente liso, posea nula fricción. Por tanto, se afirma que es necesario proporcionar una mayor fuerza de fricción a través de algún material también accesible. La madera se vende en ferreterías o

carpinterías, lo que hace que tenga accesibilidad. Escogemos la madera para proporcionar fricción a los sistemas de sobrecimientos descritos.

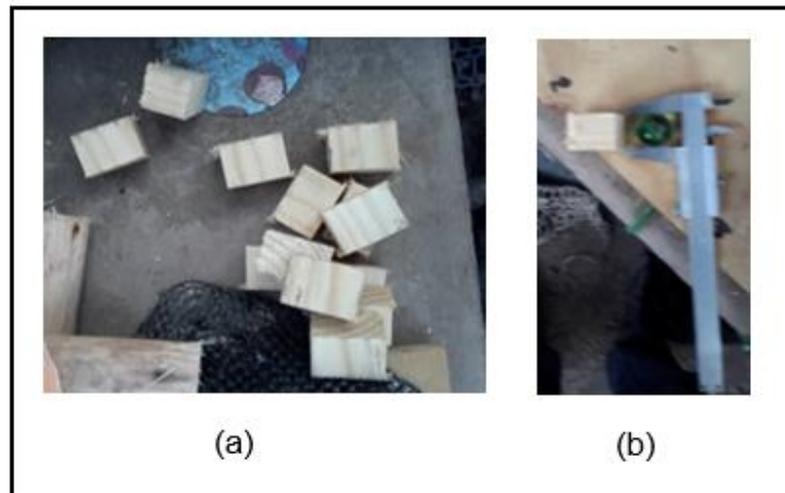


Figura 23 Presentación y comparación de altura de los tacos de madera

Como se observa en la figura 23 – imagen (a), se consiguen “tacos” al cortar un listón de madera. Para poder definir el tamaño del listón de madera es necesario saber el tamaño de las canicas. Este tamaño es 1” aproximadamente. Como se ve en la figura 23 – imagen (b), la comparación de alturas del “taco de madera” y la canica, mediante el Pie de Rey es similar. Esto permite crear una superficie de contacto al mismo nivel entre la madera y las canicas. De este modo, se deba superar la resistencia de los tacos de madera para que el muro de tierra empiece a desplazarse.

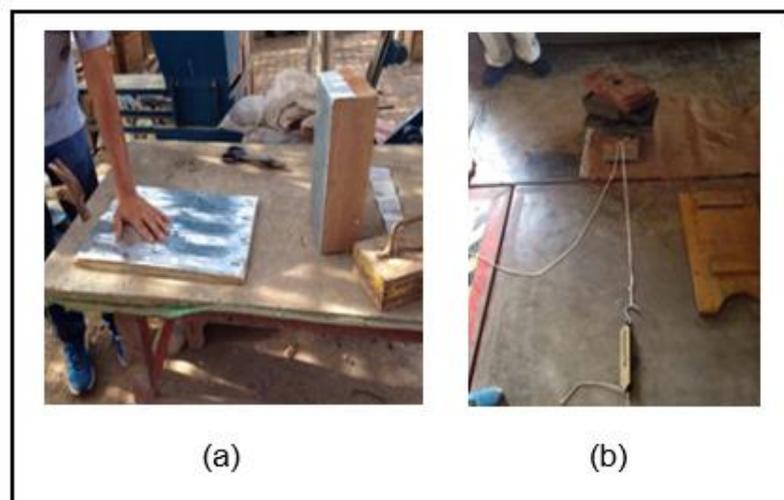


Figura 24 Elaboración y ejecución de ensayo para el cálculo de fuerza de fricción

En la figura 24 se observa el procedimiento del ensayo para determinar la combinación de tacos de madera y canicas para emplearse en la investigación. En la imagen (a) se observa la elaboración de superficies de platina planas, las que son clavadas a superficies de madera. Esta es una simulación de las superficies entre las que serán colocados los materiales analizados. Asimismo, en la imagen (b) se observa el

ensayo realizado con el par de superficies de platina creadas, un dinamómetro, peso muerto y distintas combinaciones de tacos de madera y canicas. La combinación respectiva de materiales, tacos de madera y canicas, fueron colocadas entre las superficies de platina. Para aumentar el registro de la fuerza en el dinamómetro, fue colocada la carga muerta por encima del sistema de materiales antes descritos. Finalmente el ensayo consistió en registrar la fuerza necesaria para iniciar el movimiento de la carga muerta.

Tabla 6 Resultados de la oposición al desplazamiento sobre combinaciones de tacos de madera y canicas.

Cantidad de canicas	Cantidad de tacos de madera	Resistencia 1 (Kg.)	Resistencia 2 (Kg.)	Resistencia 3 (Kg.)	Resistencia promedio (Kg.)
2	2	8	8	8	8.0
4	2	8	6	6	6.7
8	2	5	5	5	5.0
16	2	4	4	4	4.0
2	4	10	13	10	11.0
4	4	9	8	12	9.0
8	4	8	8	8	8.0
16	4	7	7	8	7.0
0	4	20	18	22	20.0
4	0	4	6	4	4.7

En la tabla 6 se presentan los resultados del ensayo descrito previamente con una carga muerta de 60.5 Kg. Para esto, fueron realizados 3 ensayos por cada combinación de tacos de madera y canicas, para obtener un promedio de resistencia que los caracterice. Los ensayos mantuvieron la cantidad de tacos de madera constante, mientras que la cantidad de canicas varió. Así, hay dos grupos de valores acorde a la cantidad de tacos de madera.

Para escoger la cantidad de materiales, se escogen a la combinación que obtuvo como resistencia la 1/3 parte de la resistencia máxima del grupo de ensayos con 2 tacos de madera, y la 2/3 parte del grupo de ensayos con 4 tacos de madera. Según esto, la primera resistencia corresponde a 2.7 Kg. Se toma como referencia el resultado más cercano, 4 Kg. La segunda resistencia equivale a 7.3 Kg. Se toma como referencia el resultado más cercano, 7Kg.

Tabla 7 Relaciones límite de canicas y cubos de madera

Cantidad de Canicas	Cantidad de tacos de madera
28	7
28	4

En la tabla 7 se muestran las relaciones de materiales escogidas para la investigación. Estas relaciones son obtenidas de la tabla 6, donde la primera relación es 16 canicas y 2 tacos de madera (8:1); mientras que la segunda relación es 16 canicas y 4 tacos de madera (4:1). Sin embargo, dada la cantidad de canicas calculada “28” y siendo múltiplo de 7 y 4, se opta por escoger las relaciones de materiales mostradas.

D. Composición del Tercer Prototipo de Sobrecimiento Aislante

El Tercer Prototipo de Sobrecimiento Aislante está conformado por triplay, platinas, canicas, cubos de madera, drizas, ensambles de shicras elípticas y una viga collar. De este modo, se distinguen 5 capas de materiales. Se utiliza la primera relación de materiales de la tabla 7. Según esto, la 1ra capa está conformada por un arreglo de láminas de triplay con platinas, 28 canicas, 7 cubos de madera y drizas.

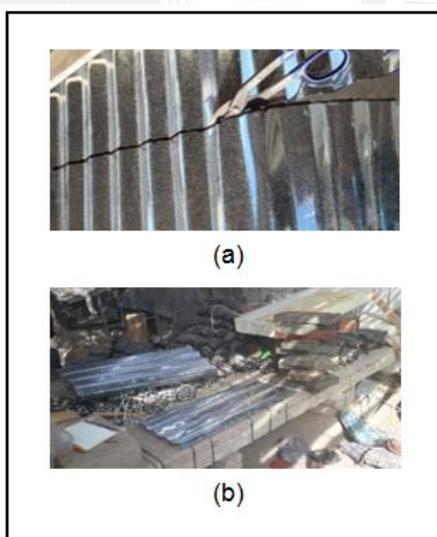


Figura 25 Fabricación y colocación de platina sobre la viga de concreto

En la figura 25 se observa el procedimiento de obtención de la platina. En la imagen (a) se observa el corte de “calamina”, la cual es ondulada, de acuerdo a las dimensiones de la sección transversal del muro de tierra. En la imagen (b) se aprecia el aplanamiento de la sección de calamina cortada. Este proceso se hace mediante una piedra, con la cual se chanca y aplanan las ondulaciones. Las ondulaciones son

deformaciones elaboradas en estado plástico de la calamina, lo que impide su deformación plana completa.

La calamina, figura 25, se vende en la mayoría de ferreterías en todo el país, lo que la hace de alcance nacional. Se clavan platinas a 2 láminas de triplay, por una cara, para después de orientar estas caras una con otra, crear una superficie de rodadura entre las platinas, para las canicas.



Figura 26 Colocación de drizas como líneas guía de la distribución de cubos de madera y canicas en el sobrecimiento

A su vez, como se observa en la figura 26, se colocan drizas para contener dentro de cada sección a los materiales. Estas drizas tienen que ser colocadas en esta estapa, pues es la manera de controlar a las canicas para que no rueden deliberadamente después de vencida la resistencia de los tacos de madera.

La 2da y 3era capa son ensambles de shicras elípticas, las cuales están sujetas a la 4ta y 5ta capa, lámina de triplay y viga collar de madera, mediante drizas transversales. Este arreglo de 4 capas, en el orden descrito, fue ensayado en el proyecto del MVCS (aún en proceso de publicación). Según esto, al analizar los resultados de esta investigación y ponerlos en contraste con los del MVCS, se podrá obtener la mejora causada por los nuevos materiales agregados.

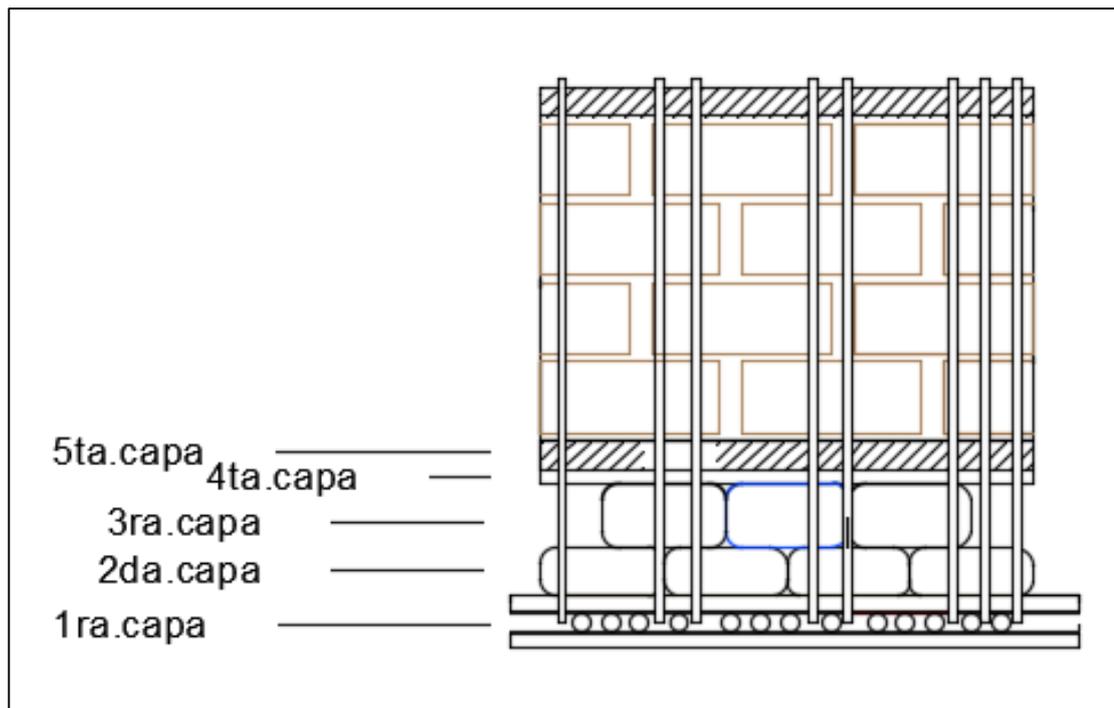


Figura 27 Diseño Preliminar del Tercer Prototipo de Sobrecimiento Aislante

En la figura 27 se observa el modelo del tercer prototipo de sobrecimiento aislante capa por capa, de acuerdo a los descrito previamente. Además, se observa el detalle de driza que sujeta la platina superior junto a la lámina de triplay con el muro. De este modo se pretende aislar la construcción de tierra junto a los ensambles de shicras del suelo. Este arreglo es hecho con la finalidad de observar el comportamiento generado por la 1ra capa.

Ya que la modificación del sobrecimiento es en las 2 primeras capas, se denomina a este como ‘sobrecimiento de ensamble de shicras elípticas con canchales y tacos de madera’ Este nombre permite distinguir los tipos de ensambles de shicras utilizados y los materiales que modifican el comportamiento de estos.

4.3.4. Cuarto Prototipo de Sobrecimiento Aislante. Sobrecimiento con Platinas menos rugosas

El cuarto Prototipo de Sobrecimiento Aislante está conformado por platinas, láminas de triplay, ensambles de shicras con piedras de 5 a 7”, shicras elípticas y una viga collar de madera. Se distinguen en el sobrecimiento, 6 capas de materiales. Lo que diferencia a este Prototipo de Sobrecimiento con el Segundo, es que este no tiene piedras entre las platinas de la 1ra capa, y que el tamaño de las piedras utilizadas como 3ra capa, son 5 a 7”.

La 3ra, 4ta, 5ta y 6ta capa, en ese orden, fueron analizadas en el proyecto del MVCS

(aún en proceso de publicación). De este modo, al comparar los resultados se podrá concluir acerca de la mejora en capacidad de rodadura que permiten los nuevos materiales agregados.

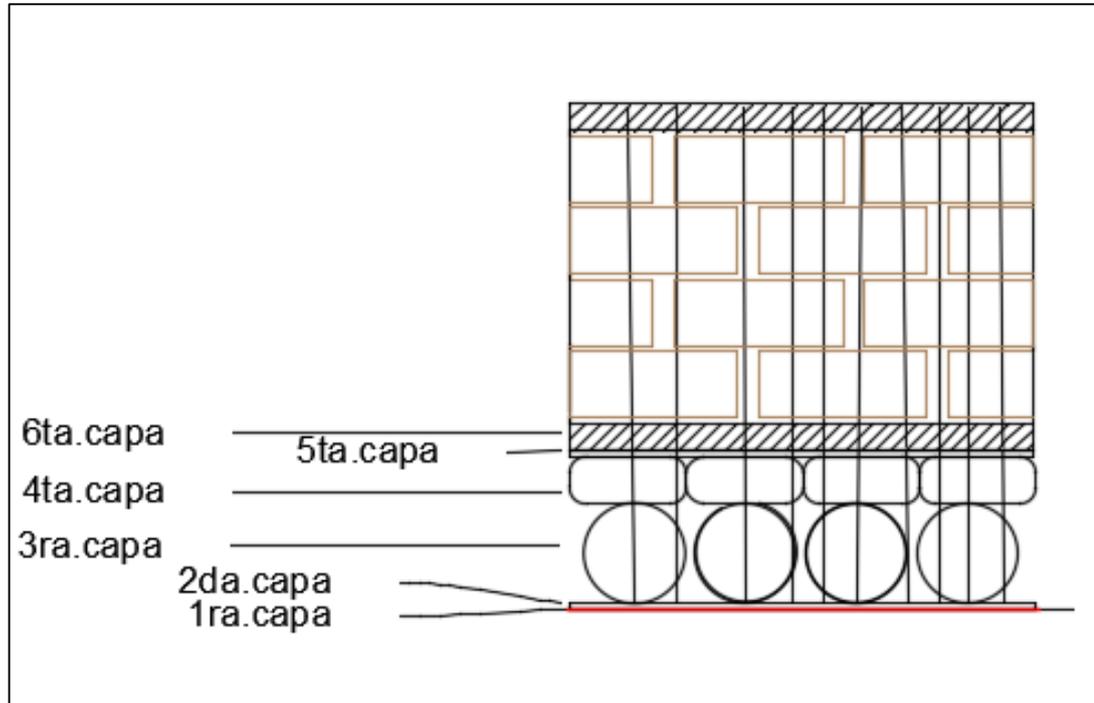


Figura 28 Diseño Preliminar del Cuarto Prototipo de Sobrecimiento Aislante.

En la figura 28 se observa el modelo del cuarto prototipo de sobrecimiento aislante, el cual tiene 6 capas de materiales. Además, se observa el detalle de driza que sujeta la 2da capa con el muro. De este modo se pretende aislar la construcción de tierra junto a los ensambles de shicras con piedras de 5 a 7" y shicras elípticas del suelo. Este arreglo es hecho con la finalidad de observar el comportamiento generado por la 1ra capa.

Ya que la modificación del sobrecimiento es en las 2 primeras capas, se denomina a este como 'sobrecimiento de ensamble de shicras con piedras de 7", shicras elípticas con platinas" Este nombre permite distinguir los tipos de ensambles de shicras utilizados y los materiales que modifican el comportamiento de estos.

4.3.5. Quinto Prototipo de Sobrecimiento Aislante. Sobrecimiento con Rollizos de madera

El Quinto Prototipo de Sobrecimiento Aislante está conformado por rollizos de madera, láminas de triplay, ensambles de shicras esféricas y una viga collar de madera. Se distinguen 5 capas que conforman este sobrecimiento. La 1era capa son rollizos de madera, que están colocados transversalmente. La 2da capa es una lámina de triplay, que genera un nuevo nivel.



Figura 29 Distribución de rollizos de madera

La figura 29 muestra el detalle de las dos primeras capas. La imagen (a) muestra parte de la 1ra capa, donde se observa que 2 rollizos de madera son colocados longitudinalmente y sobre los cuales, son clavados los bordes para limitar el desplazamiento de los rollizos transversales. Asimismo, los rollizos longitudinales son clavados a la 2da capa, lámina de triplay. Finalmente, en la imagen (b) se observa el armado de las dos primeras capas del sobrecimiento.

La 3era capa son ensambles de shicras esféricas, la 4ta capa es lámina de triplay; y la 5ta, viga collar de madera. En el proyecto del MVCS, fue analizado un muro de tierra con un sobrecimiento similar al descrito. Según esto, los resultados de esta investigación serán comparados, y se podrá analizar la mejora causada por los nuevos materiales agregados en esta investigación

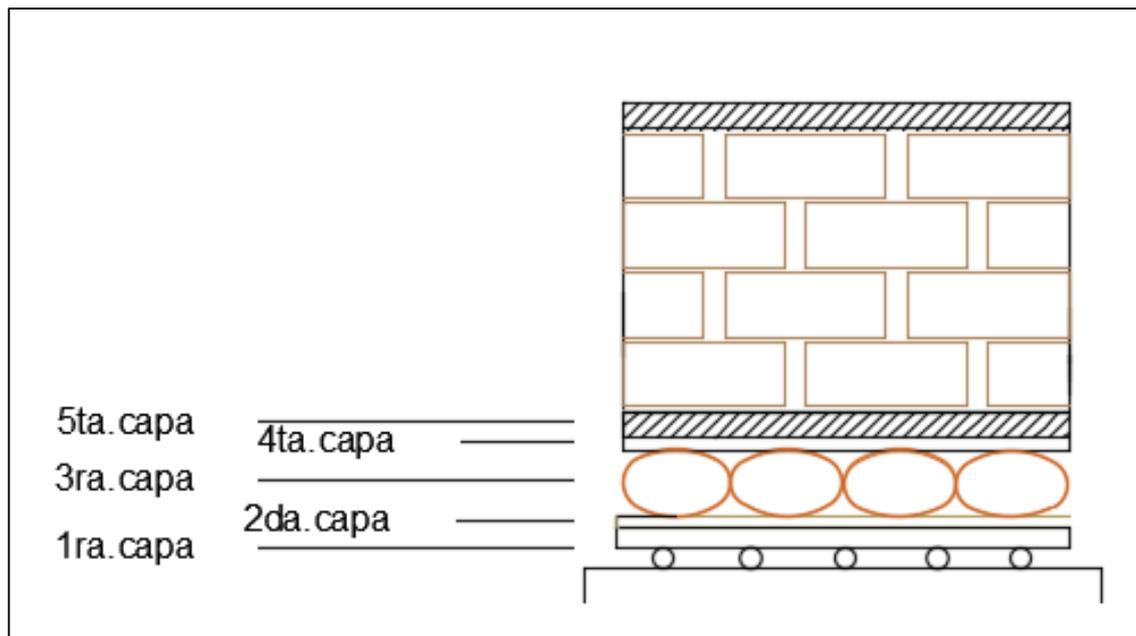


Figura 30 Diseño Preliminar del Quinto Prototipo de Sobrecimiento Aislante

En la figura 30 se observa el modelo del quinto prototipo de sobrecimiento aislante, con las 5 capas de materiales. Ya que la modificación del sobrecimiento es en las 2 primeras capas, se denomina a este como “sobrecimiento de ensamble de shicras esféricas con rollizos de madera” Este nombre permite distinguir los tipos de ensambles de shicras utilizados y los materiales que modifican el comportamiento de estos.

4.3.6. Sexto Prototipo de Sobrecimiento Aislante. Sobrecimiento con canicas y menos tacos de madera.

El Sexto Prototipo de Sobrecimiento Aislante está conformado por canicas, platinas, láminas de triplay, ensambles de shicras elípticas y viga collar de madera. Con estos materiales, se distinguen 5 capas. Se utilizan en este sobrecimiento, las investigaciones respectivas para la obtención del Tercer Prototipo de Sobrecimiento Aislante. Por esto, el esquema visto en la figura 27 es el mismo para este sobrecimiento. La diferencia entre sobrecimientos son la cantidad de tacos de madera. Esto es debido a que se usó la segunda relación de materiales friccionantes de la tabla 7 en el Sexto Prototipo de Sobrecimiento Aislante, para la 1ra capa.

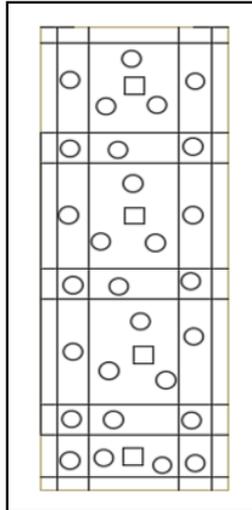


Figura 31 Distribución de canicas y tacos de madera

En la figura 31 se observa la distribución de canicas y tacos de madera, por cada sección de la platina sobre la lámina de triplay en la 1ra capa del sobrecimiento. Para esto, las canicas están representadas por el símbolo “○” Y los tacos de madera, “□” Se observan en total 4 tacos de madera y 28 canicas. Asimismo, se observa en líneas negras la ubicación de drizas, las que finalmente serán sujetas y ajustadas al muro de tierra.

Ya que la modificación del sobrecimiento es en la primera capa del sobrecimiento, se denomina a este como ‘sobrecimiento de ensamble de shicras elípticas con canicas y menos tacos de madera’ Este nombre permite distinguir los tipos de ensambles de shicras utilizados y los materiales que modifican el comportamiento de estos.

4.4. Verificación de cantidad de arcilla y arena gruesa del suelo para la obtención de construcciones de tierra reforzada.

Se presentan las consideraciones, dentro del Proyecto del MVCS, para la construcción de los muros de tierra con las pruebas de campo mencionadas en el subcapítulo 1.2. Por ejemplo, para la verificación de la composición del suelo fue necesaria el ensayo de “Resistencia Seca” para el cual fueron utilizadas 5 muestras esféricas, figura 32 – imagen (a), 1 más al requerido. Así también, para el control de fisuras la relación óptima de suelo y arena gruesa es 1:2.

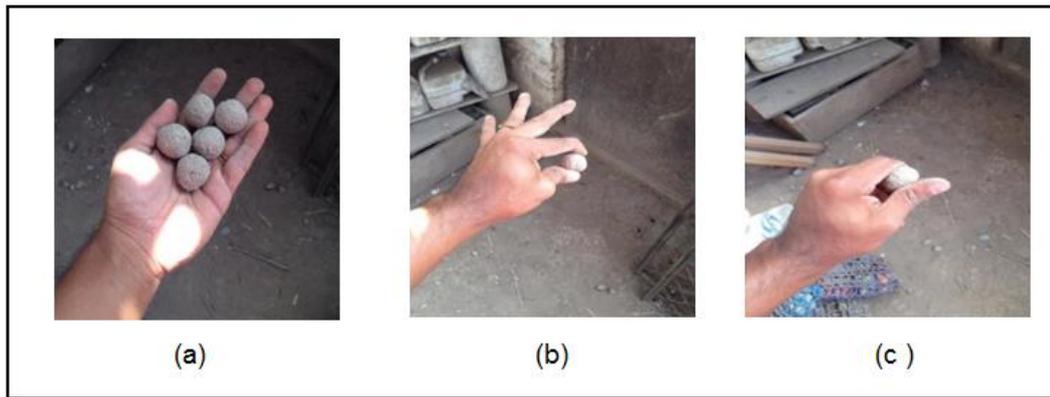


Figura 32 Ensayo de “Resistencia Seca” (Fuente: Proyecto Estudio de Aislamiento Sísmico de Viviendas Rurales Mediante Sobrecimientos con Shicras, 2017. En proceso de publicación)

La figura 32 muestra el ensayo “Resistencia Seca.” En la imagen (a) se observa que fue hecho con 5 muestras del suelo que se usó en el Proyecto Estudio de Aislamiento Sísmico de Viviendas Rurales Mediante Sobrecimientos con Shicras del MVCS. Este ensayo tuvo como objetivo verificar la resistencia mínima del suelo seco empleado. En la imagen (b) y (c) se demuestra que la fuerza ejercida con el dedo índice y pulgar en ninguna de esas posiciones, logra deformar ni romper las muestras esféricas. De este modo se verificó que el suelo tenía la cantidad de arcilla necesaria para la construcción de los adobes y uso de mortero.

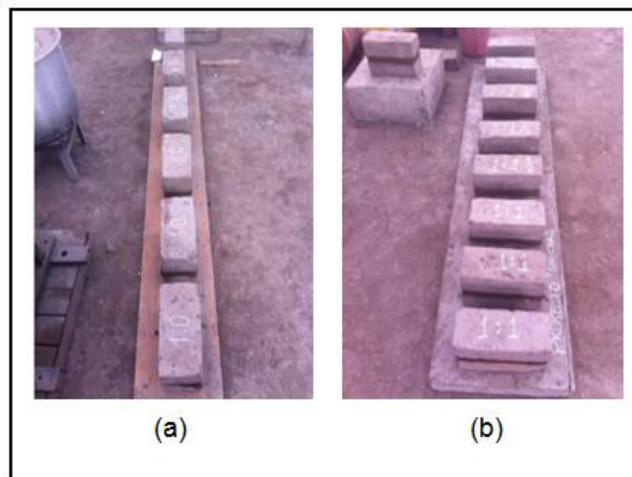


Figura 33 Ensayo de “Control de fisuras” (Fuente: Proyecto Estudio de Aislamiento Sísmico de Viviendas Rurales Mediante Sobrecimientos con Shicras, 2017. En proceso de publicación.)

En la figura 33 se observan los especímenes de adobes para el control de fisuración del mortero. Para esto, se realiza el procedimiento de la prueba respectivo según el numeral 1.2.2. En la imagen (a) se observan los especímenes con la relación de suelo y arena gruesa de 1:0 y 1:1/2; mientras que en la imagen (b) se ven 1:1, 1:1 ½ y 1:2, siendo 3 especímenes por cada uno. Finalmente, después de 48 horas de

secado, el mortero que no presentó fisuras fue el de la combinación 1:2. Según esto, se tuvo la relación de materiales para combinar para preparar el mortero y poder construir los muros de tierra reforzada.

4.5. Presentación de muros (SECUENCIA FOTOGRÁFICA)

A continuación se muestran los muros que serán evaluados para determinar qué sobrecimiento opone menor resistencia para su desplazamiento y el que mejor disipa la energía proveniente del movimiento del suelo. Asimismo, se hace una descripción de la composición de las capas de cada sobrecimiento por muro.



Figura 34 Presentación del muro M1

La figura 34 muestra al muro M1, el cual está conformado por el Primer prototipo de sobrecimiento aislante. Este sobrecimiento está compuesto por 63 piedras de $\frac{1}{2}$ ", 1 lámina de triplay, 2 niveles de ensambles de shicras elípticas, 1 lámina de triplay y 1 viga collar de madera. Esta descripción de elementos y/o materiales es hecha con orientación desde la viga de concreto.



Figura 35 Presentación del muro M2

La figura 35 muestra al muro M2, el cual está conformado por Segundo prototipo de sobrecimiento aislante. Este sobrecimiento está compuesto por 39 piedras de canto rodado de 1" colocados entre 2 platinas por lado, 1 lámina de triplay, 1 capa de ensamble de shicras con piedras de 4 a 6", 1 capa de ensamble de shicras elípticas, 1 lámina de triplay y 1 viga collar de madera. Esta descripción de elementos y/o materiales es hecha con orientación desde la viga de concreto.



Figura 36 Presentación del muro M3

La figura 36 muestra al muro M3, el cual está conformado por el Segundo prototipo de sobrecimiento aislante. Este sobrecimiento está compuesto por 28 canicas y 7 tacos de madera colocados entre platinas clavadas a láminas de triplay por una de sus caras, 2 niveles de ensambles de shicras elípticas, 1 lámina de triplay y 1 viga collar de madera. Esta descripción de elementos y/o materiales es hecha con orientación desde la viga de concreto.



Figura 37 Presentación del muro M4

La figura 37 muestra al muro M4, el cual está conformado por el Cuarto prototipo de sobrecimiento aislante. Este sobrecimiento está compuesto por 4 platinas, 1 lámina de triplay, 1 capa de ensambles de shicras con piedras de 5 a 7", 1 capa de ensamble de shicras elípticas, 1 lámina de triplay y 1 viga collar de madera. Esta descripción de elementos y/o materiales es hecha con orientación desde la viga de concreto.

ensambles de shicras elípticas, 1 lámina de triplay y 1 viga collar de madera. Esta descripción de elementos y/o materiales es hecha con orientación desde la viga de concreto.



Figura 38 Presentación del muro M5

La figura 38 muestra al muro M5, el cual está conformado por el Quinto prototipo de sobrecimiento aislante. Este sobrecimiento está conformado por 5 rollizos de madera transversales y 2 longitudinales en la dirección del muro de tierra, ensambles de shicras esféricas, 1 lámina de triplay y 1 viga collar de madera. Esta descripción de elementos y/o materiales es hecha con orientación desde la viga de concreto.



Figura 39 Presentación del muro M6

La figura 39 muestra el muro M6, el cual está conformado por el Tercer prototipo de sobrecimiento aislante. Este sobrecimiento está compuesto por 28 canicas y 4 tacos de madera colocados entre platinas clavadas a láminas de triplay por una de sus caras, 2 niveles de ensambles de shicras elípticas, 1 lámina de triplay y 1 viga de collar de madera. Esta descripción de elementos y/o materiales es hecha con orientación desde la viga de concreto.

4.6. Ensayos realizados

Para iniciar una investigación sobre aislamiento de construcciones de tierra, por medio del sobrecimiento, es preciso definir cuáles son los ensayos que se van a realizar, identificando cuáles son los resultados esperados. A continuación se detallan primero la variable que se desea calcular y luego el tipo de ensayo necesario para conseguirlo.

Se desea conocer el coeficiente de fricción de cada muro, para esto es necesario conocer la fuerza para iniciar el desplazamiento del mismo respecto a su sobrecimiento. Para conseguir esto, el primer ensayo consiste en la aplicación de una fuerza puntual lateral sobre el muro, en la dirección del mismo, y el registro del desplazamiento que se causa. Esta fuerza es aquella que sin variar, produce un desplazamiento continuo del muro; y puede ser obtenida del diagrama fuerza – deformación que se produce en el ensayo de carga cíclica horizontal.

Se desea registrar el comportamiento dinámico de cada muro, influenciado por su sobrecimiento, para ser analizado por el factor Potencial Destructivo. Así, el segundo ensayo consiste en la simulación sísmica del terremoto ocurrido en Ancash en 1970. De este modo, mediante una tabla, comparar el PD de la mesa vibradora y de cada muro.

4.6.1. Ensayos de carga cíclica horizontal

Las shicras originales encontradas en la costa norte de nuestro país, rellenas de piedras, se han utilizado como núcleos para construcciones masivas. En el Proyecto se debe adaptar estos conceptos a una construcción representativa de la tradición popular actual, que es de pequeñas dimensiones comparada con las construcciones antiguas que usaron las shicras y piedras originales. Se evalúan seis alternativas de muros, con sobrecimientos distintos como aplicación de los conceptos de shicras, para calcular su comportamiento de desplazamiento.

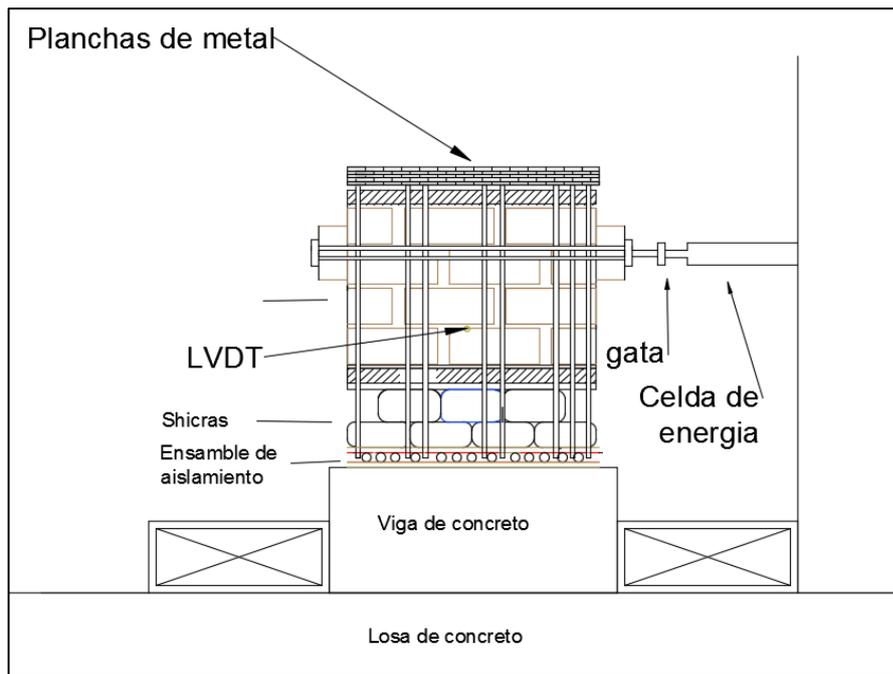


Figura 40 Esquema del ensayo de carga cíclica, referencia del Muro M3.

La figura 40 muestra el esquema del ensayo de carga cíclica horizontal. Se observa el LVDT, dispositivo para medir la distancia desplazada, y la celda de energía que cuantifica y transmite la fuerza aplicada a través de la gata en el muro de tierra. La metodología es la siguiente: Mediante la aplicación de una fuerza cíclica y un dispositivo LVDT ubicado en la parte inferior del muro se espera obtener un gráfico fuerza - desplazamiento de cada uno de los 6 muros. Finalmente, con empleo del gráfico en mención, se calcula la fuerza necesaria para reiniciar el movimiento continuo del muro.

Este ensayo estático se caracteriza además por tener una carga muerta adicional. Esta carga muerta, 5 planchas de metal (130 Kg.), se coloca sobre el muro para obtener registros de fuerza mayores. Esto aumenta la precisión de lectura de la celda de carga.

Tabla 8 Ensayo de Carga Cíclica Horizontal

Velocidad	Desplazamiento límite	Numero de ciclos por muro	Número de ciclos totales
5 mm/seg	20 mm	1	6
10 mm/seg	40 mm	1	6
20 mm/seg	60 mm	1	6
20 mm/seg	80 mm	1	6
50 mm/seg	100 mm	1	6

Para realizar este ensayo se toma como referencia las velocidades y desplazamientos máximos del ensayo realizado por el MVCS. Según esto, se muestra en la tabla 8 las características de cada fase de prueba.

4.6.2. Ensayos de simulación sísmica

El comportamiento de los muros ensayados varía dependiendo de la velocidad de aplicación de la carga. En la serie de ensayos de carga cíclica horizontal, la carga se aplica lentamente. Esto nos sirve para comparar la capacidad de disipación de movimiento por cada sobrecimiento. Sin embargo, ante un evento sísmico no se sabe el comportamiento real de los muros de tierra. Por ello el ensayo de simulación sísmica sirve para evaluar el comportamiento de los muros influenciados por cada sobrecimiento.



Figura 41 Colocación e instalación de muros sobre el simulador sísmico

En la figura 41 se muestra la colocación de los muros para el ensayo de simulación sísmica dentro del Laboratorio de Estructuras en la PUCP. En la imagen (a) se observan mecanos metálicos distribuidos sobre el simulador sísmico de manera que las vigas de concreto colocadas entre ellos, son impedidos de movimiento. Asimismo, en la imagen (b) se observan listones de madera colocados lateralmente por cada

muro. Estos listones fueron colocados para reducir la posibilidad que los muros fallen por volteo y se analice así el comportamiento estricto longitudinal.

La señal sísmica a evaluar corresponde al registro de aceleraciones de la componente longitudinal del terremoto del 31 de mayo de 1970 medido en Lima. El simulador sísmico reproduce y normaliza este registro de aceleraciones de acuerdo a su desplazamiento máximo. Para esta investigación se analizan 4 fases, cada una identificada por el desplazamiento máximo alcanzado del simulador.

Tabla 9 Desplazamientos máximos del simulador sísmico por cada fase

Fase	Desplazamiento máximo (mm)
1	30
2	60
3	90
4	130

En la tabla 9 se observa las 4 fases de prueba, las cuales están diferenciadas en el desplazamiento máximo de la mesa, también llamado simulador sísmico. Cada uno de estas fases es representada por el acelerograma descrito por la mesa. A continuación son presentados los acelerogramas de la mesa por cada fase, se menciona la aceleración máxima alcanzada y el tipo de sismo que se intenta simular.

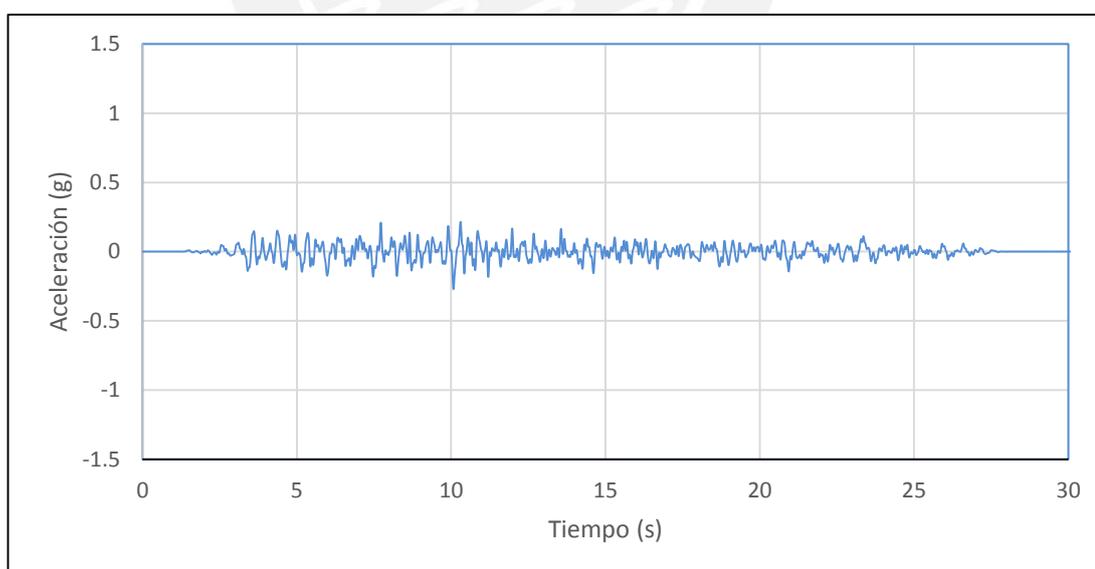


Figura 42 Acelerograma del simulador sísmico para la fase 1

La figura 42 muestra el registro de aceleración que será usado en la fase 1. Este registro tiene una aceleración máxima de 0.3g aproximadamente asociado a un desplazamiento de la mesa de 30mm. Sirve para representar el movimiento generado por un sismo considerado referencialmente como leve.

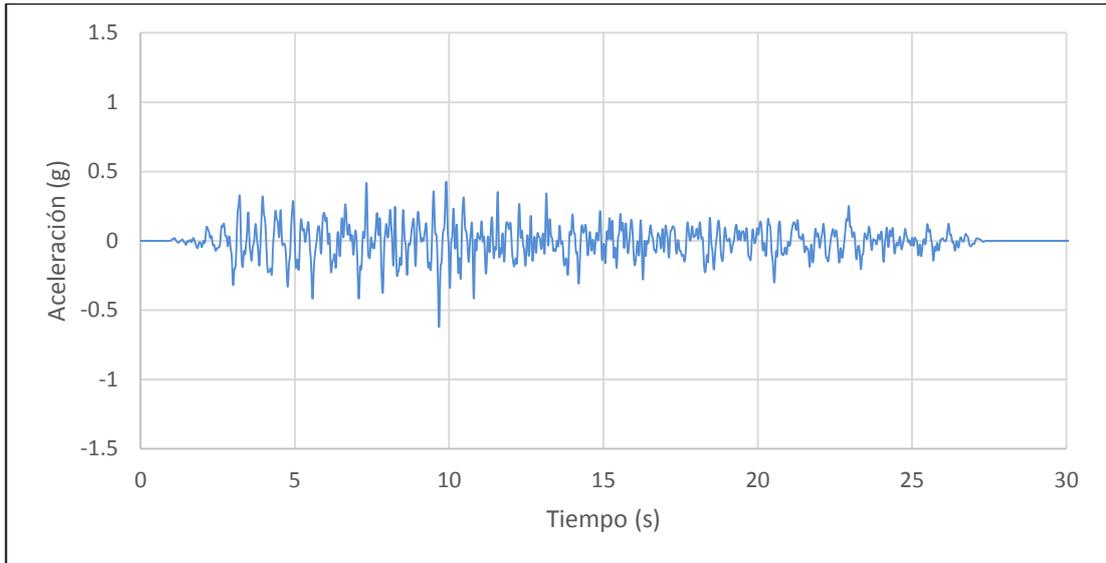


Figura 43 Acelerograma del simulador sísmico para la fase 2

La figura 43 muestra el registro de aceleración que será usado en la fase 2. Este registro tiene una aceleración máxima de 0.6g aproximadamente asociado a un desplazamiento de la mesa de 60mm. Representa un sismo común de moderada intensidad.

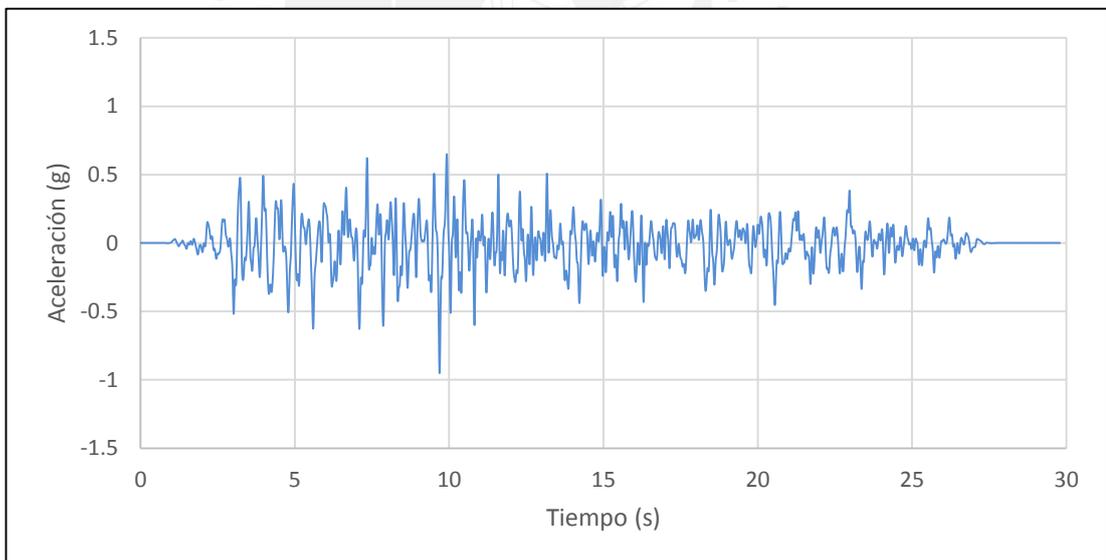


Figura 44 Acelerograma del simulador sísmico para la fase 3

La figura 44 muestra el registro de aceleración que será usado en la fase 3. Este registro tiene una aceleración máxima de 1.0g aproximadamente asociado a un desplazamiento de la mesa de 90mm. Representa un sismo fuerte.

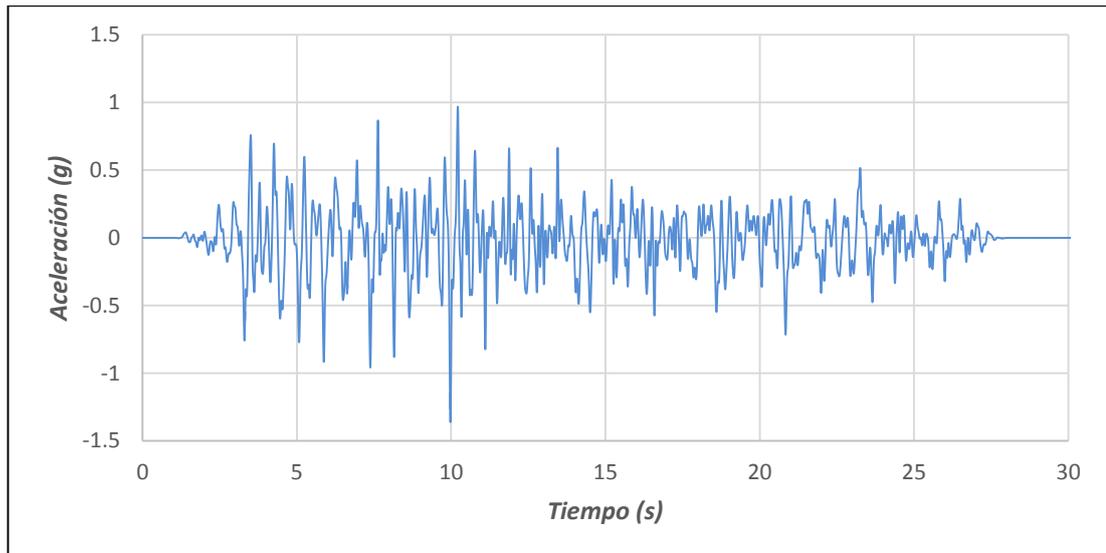


Figura 45 Acelerograma del simulador sísmico para la fase 4

La figura 45 muestra el registro de aceleración que será usado en la fase 4. Este registro tiene una aceleración máxima de 1.4g aproximadamente asociado a un desplazamiento de la mesa de 130mm. Representa un sismo muy fuerte

Para poder comparar los comportamientos de cada uno de los muros, fueron colocados acelerómetros por encima de sus sobrecimientos en el muro mismo. Asimismo para poder evaluar visualmente el comportamiento de los muros, se hizo uso de cámaras durante las fases de prueba. De este modo, se espera controlar el ensayo.

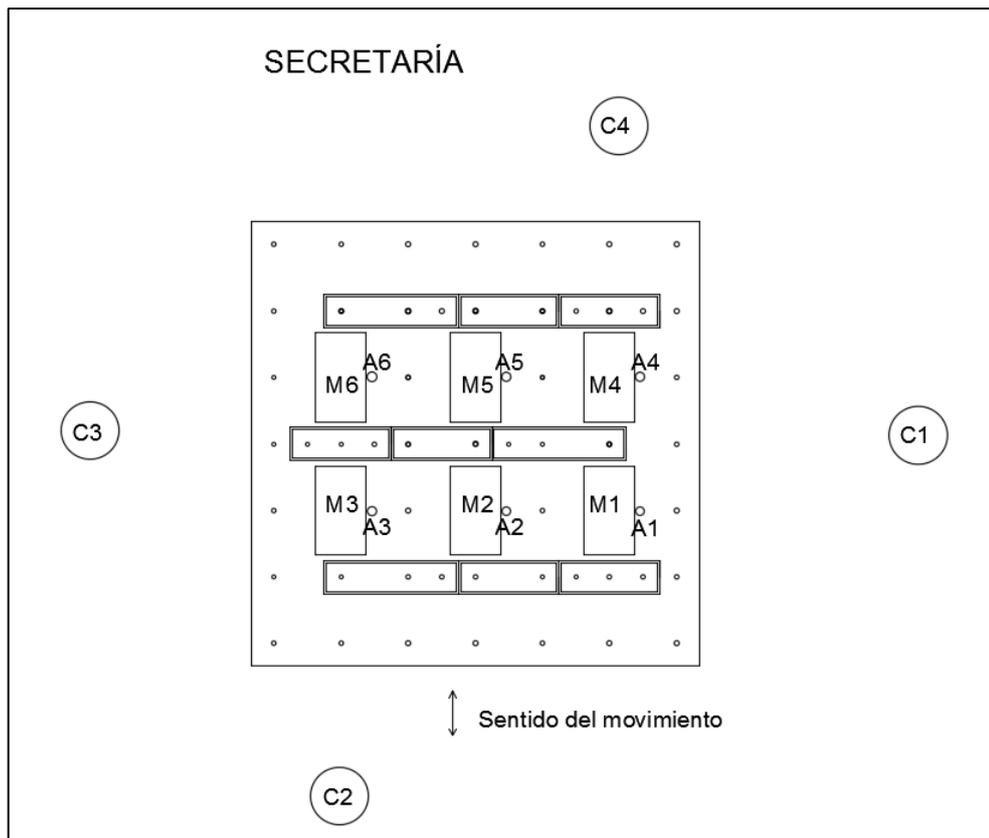


Figura 46 Esquema de la instrumentación para el ensayo de simulación sísmica.

En la figura 46 se observa el esquema del ensayo así como el sentido de simulación sísmica. Asimismo, se observa la ubicación de las cámaras como referencia para ubicar los muros en los videos. De este modo, se tiene referencia de la ubicación de los acelerómetros y muros.

Capítulo 5. Resultados

5.1. Ensayo de carga cíclica horizontal

5.1.1. Resultados

Se presentan los diagramas fuerza deformación como resultado del ensayo de carga cíclica horizontal realizado a 6 muros de tierra, y el cálculo del coeficiente de fricción para cada uno. Para el cálculo de la fuerza que, sin variar desplaza al muro de tierra continuamente respecto al cimiento, se hace el promedio de las fuerzas en ambos sentidos. Así también, la masa del muro de tierra incluida la del sobrecimiento que se desplaza es tomada de la tabla 10. Estos valores permitirán el cálculo del coeficiente de fricción.

El cálculo de la masa en cada ensayo es analizado a continuación. Para esto, se utiliza los pesos volumétricos de adobe igual a 1700 kg/m^3 , y el de la piedra equivalente a 2250 Kg/m^3 . Para los sobrecimientos se considera solo el peso de la piedra, y se desprecia el de los materiales añadidos como madera, vidrio, aluminio y driza por considerarlas de poca influencia en el peso total. Se estandariza las dimensiones del muro de tierra propiamente dicho y las alturas de cada capa de piedras en los sobrecimientos. Estas medidas son $0.44 \times 0.70 \times 0.25 \text{ m}^3$ y 0.095 m de altura respectivamente. Finalmente, en la tabla se muestran las masas calculadas de cada muro.

Tabla 10. Tabla de masas de los muros

Tabla de Masas	Masa del muro de tierra (Kg)	Carga muerta adicional (Kg)	Masa del Sobrecimiento (Kg)	Masa total (Kg)
Muro M1	130.9	130	74.8	335.7
Muro M2	130.9	130	56.7	317.6
Muro M3	130.9	130	74.8	335.7
Muro M4	130.9	130	70.8	331.7
Muro M5	130.9	130	37.4	298.3
Muro M6	130.9	130	74.8	335.7

La tabla 10 muestra las masas parciales de cada muro, masa muerta adicional, masa del sobrecimiento para finalmente mostrar la masa total de cada muro. Esta masa es de todo el cuerpo que se desplaza en el ensayo de carga cíclica horizontal, respecto a la 1ra capa del sobrecimiento.



Figura 47 Ensayo de carga cíclica del muro M1.

En la figura 47, se observa el desplazamiento permanente, dentro del sobrecimiento, que se registra cuando el muro de tierra M1 retorna a su posición inicial. El desplazamiento fue brusco e inmediato, al alcanzar la fuerza necesaria; la cual se registra en la fase de desplazamiento máximo igual a 90mm.



Figura 48 Diagrama de fuerza – desplazamiento del sobrecimiento con piedras 1/2"

En la figura 48 se observa el comportamiento de desplazamiento del primer prototipo de sobrecimiento aislante. Aproximadamente son necesarios 1.5 KN para iniciar un desplazamiento continuo, generando deformaciones permanentes. De este modo, en la tabla 11 se muestra el coeficiente de fricción del muro M1, en la 1ra capa de su sobrecimiento.

Tabla 11 Cálculo del coeficiente de fricción del muro M1

Datos provenientes del ensayo de carga cíclica horizontal con el muro M1			
W	F		u
335.7 Kg	1.5 KN	152.9 Kg	0.46

En la tabla 11 se muestran los valores necesarios para calcular el coeficiente de fricción idealizado entre el muro de tierra y el cemento. El valor calculado del coeficiente de fricción revela que se requiere de una fuerza aproximada al 46% del peso del muro M1, incluido los ensambles de shicras, para desacoplar al muro de tierra del cemento.



Figura 49 Ensayo de carga cíclica del muro M2

Como se observa en la figura 49, fue colocado una regla L, para hacer el seguimiento visual del desplazamiento del muro de tierra. El desplazamiento parece ser de las piedras junto al muro, provocándose así un mejor aislamiento del muro de tierra. Asimismo, se aprecia uno de los desplazamientos máximos de la 4ta fase. Este y todos los desplazamientos del muro son presentados en la tabla 9.

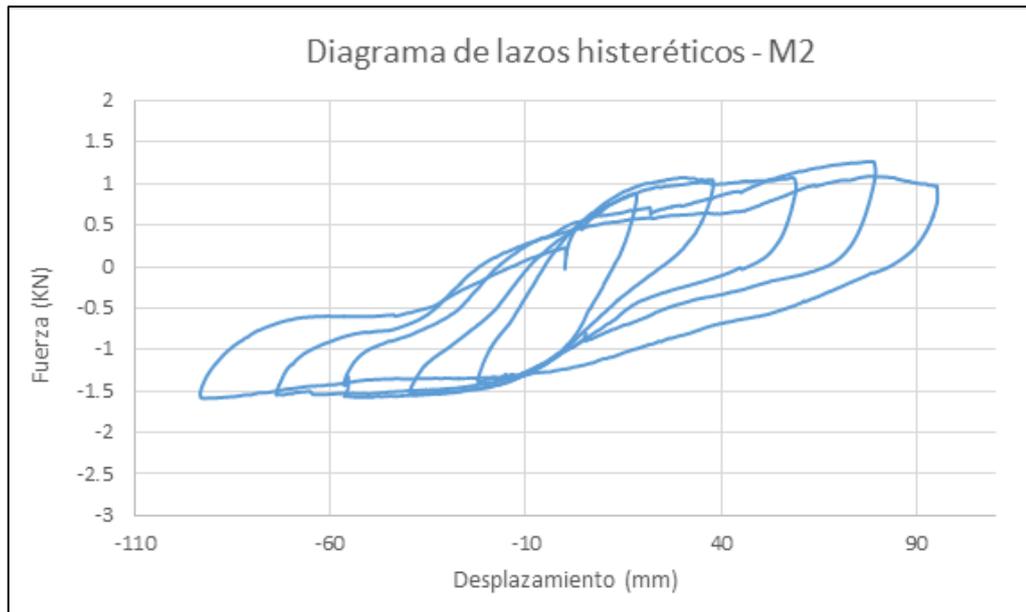


Figura 50 Diagrama de fuerza – desplazamiento del sobrecimiento con platinas con mayor rugosidad

En la figura 50, la variación de la fuerza para reiniciar el desplazamiento del muro, indica que el reacomodo de piedras de 1/2", generan restricción de movimiento. Asimismo, se observa que es necesario aproximadamente una fuerza de 1.25 KN para iniciar el desplazamiento continuo del muro. Finalmente, en la tabla 12 se muestra el coeficiente de fricción del muro M2, en la 1ra capa de su sobrecimiento.

Tabla 12 Cálculo del coeficiente de fricción del muro M2

Datos provenientes del ensayo de carga cíclica horizontal con el muro M2			
W	F		u
317.6 Kg	1.25 KN	127.4 Kg	0.40

En la tabla 12 se muestran los valores necesarios para calcular el coeficiente de fricción entre el muro de tierra y el cimiento. El valor calculado del coeficiente de fricción revela que se requiere de una fuerza aproximada al 40% del peso del muro M2, incluido los ensambles de shicras, para desacoplar al muro de tierra del cimiento.



Figura 51 Ensayo de carga cíclica del muro M3

En la figura 51 se aprecia el desplazamiento máximo del muro de tierra M3 en el ensayo. Nótese que los ensambles de shicras elípticas se desplazan junto al muro. De este modo, se demuestra que es posible que ante la acción de una carga puntual se cree aislamiento del muro de tierra respecto al cimiento de concreto.

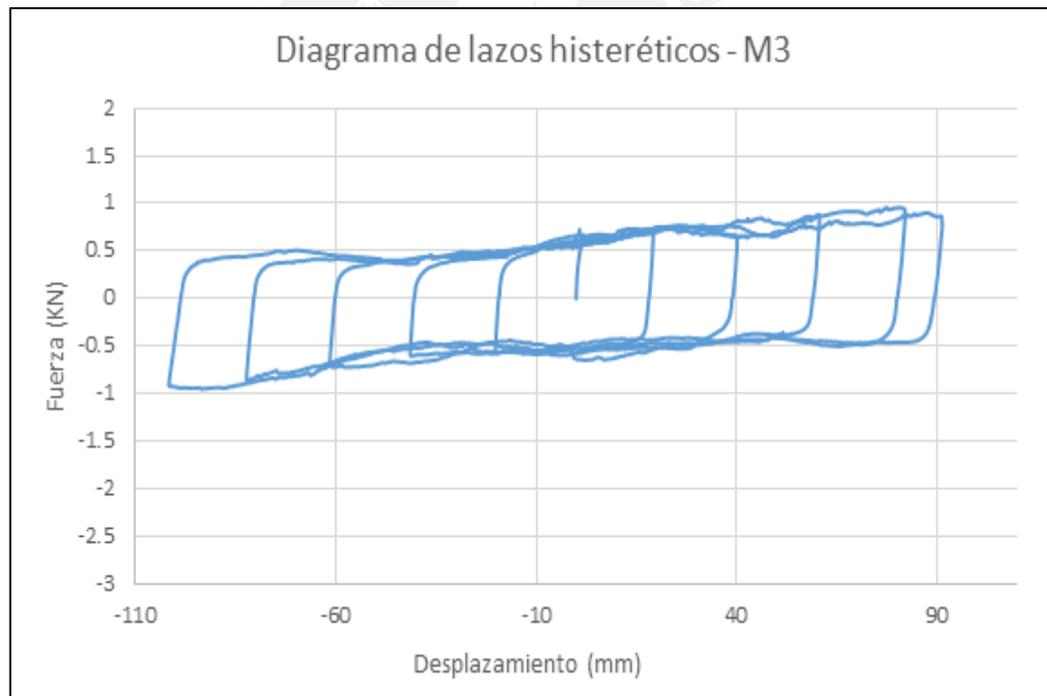


Figura 52 Diagrama de fuerza – desplazamiento del sobrecimiento con canicas con mayor rugosidad

En la figura 52 se observa que la fuerza necesaria para iniciar el desplazamiento del muro M3 respecto al cimiento es 0.75 KN; la cual genera disipación de energía a través del desplazamiento. Finalmente, en la tabla 13 se muestra el coeficiente de fricción del muro M3, en la 1ra capa de su sobrecimiento.

Tabla 13 Cálculo del coeficiente de fricción del muro M3

Datos provenientes del ensayo de carga cíclica horizontal con el muro M3			
W	F		U
335.7	0.75 KN	76.5 Kg	0.23

En la tabla 13 se muestran los valores necesarios para calcular el coeficiente de fricción entre el muro de tierra y el cemento. El valor calculado del coeficiente de fricción revela que se requiere de una fuerza aproximada al 23% del peso del muro M3, incluido los ensambles de shicras, para desacoplar al muro de tierra del cemento.



Figura 53 Ensayo de carga cíclica del muro M4

En la figura 53 se observa al muro M4 con su desplazamiento máximo de 90 mm. Asimismo se observa la poca rodadura de las piedras de 5 a 7" contenidas en las shicras, lo que ocasiona que estas no se desplacen junto al muro de tierra.

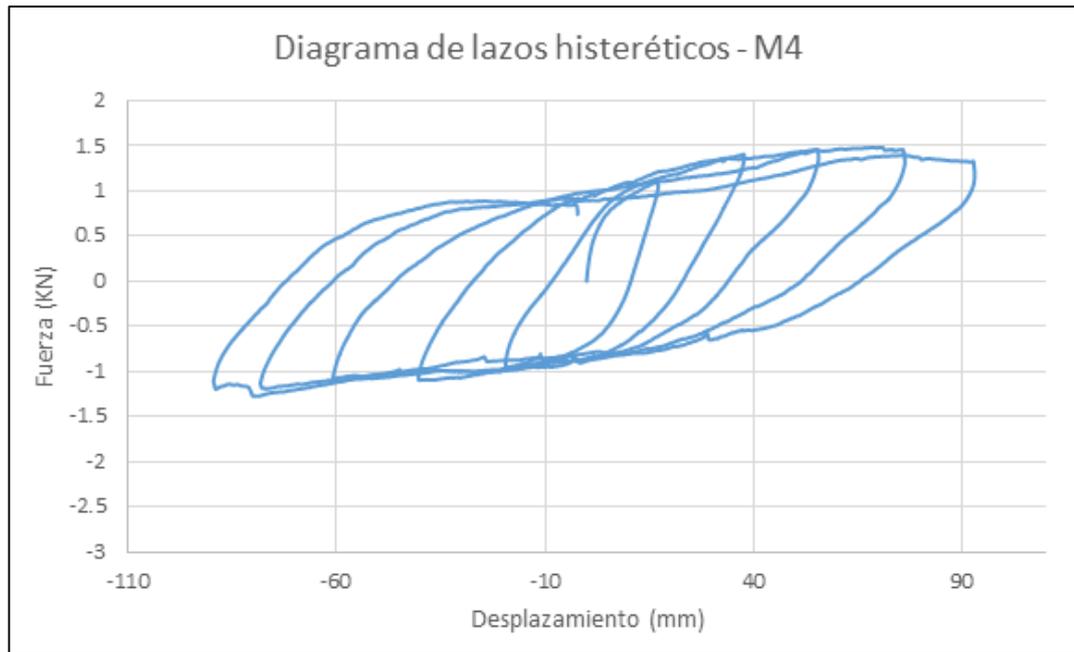


Figura 54 Diagrama de fuerza – desplazamiento del sobrecimiento con platinas

La figura 54 revela que se necesita de una fuerza aproximada a 1.3 kN para iniciar el desplazamiento o desacople del muro de tierra respecto al suelo. Finalmente, en la tabla 14 se muestra el coeficiente de fricción del muro M4, en la 1ra capa de su sobrecimiento.

Tabla 14 Cálculo del coeficiente de fricción del muro M4

Datos provenientes del ensayo de carga cíclica horizontal con el muro M4			
w	F		U
331.7 Kg	1.3 kN	132.5 Kg	0.40

En la tabla 14 se muestran los valores necesarios para calcular el coeficiente de fricción entre el muro de tierra y el cimiento. El valor calculado del coeficiente de fricción revela que se requiere de una fuerza aproximada al 40% del peso del muro M4, incluido los ensambles de shicras, para desacoplar al muro de tierra del cimiento.



Figura 55 Ensayo de carga cíclica del M5.

En la figura 55 se aprecia el desplazamiento máximo del muro de tierra M5, el cual se desplaza junto a los ensambles de shicras esféricas en una sola dirección. El desplazamiento descrito es ocasionado por los rollizos de madera, y debe ser controlado para que no existan fallas por desplazamiento.

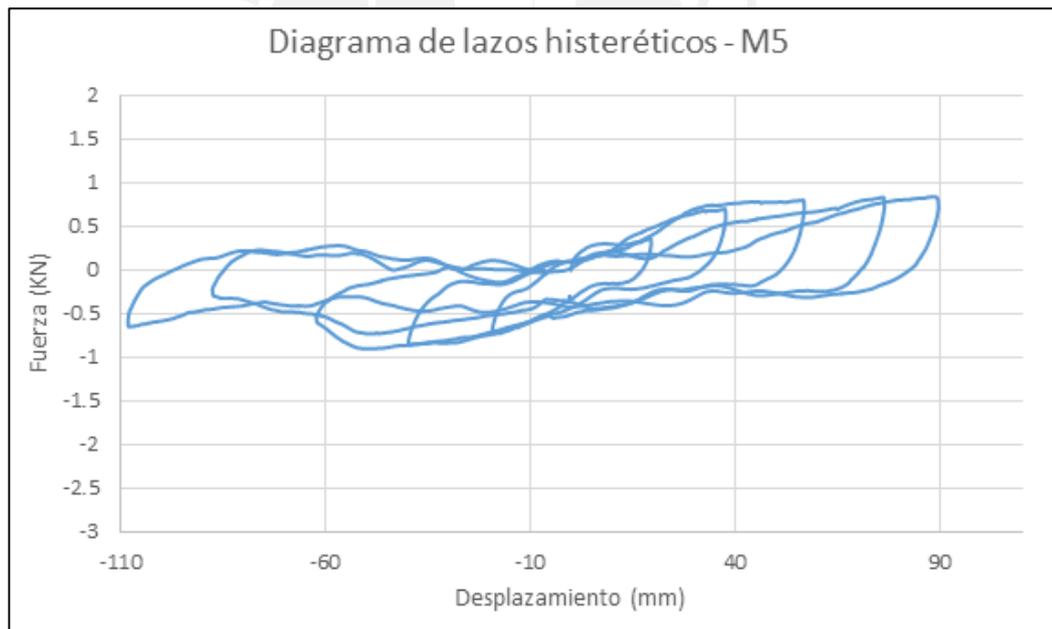


Figura 56 Diagrama de fuerza – desplazamiento del sobrecimiento con rollizos de madera

En la figura 56 se aprecia la fuerza para iniciar el desplazamiento del muro con respecto al cimiento, la cual es 0.5 kN. Finalmente, en la tabla 15 se muestra el coeficiente de fricción del muro M5, en la 1ra capa de su sobrecimiento.

Tabla 15 Cálculo del coeficiente de fricción del muro M5

Datos provenientes del ensayo de carga cíclica horizontal con el muro M5			
w	F		U
298.3 Kg	0.5 KN	51.0 Kg	0.17

En la tabla 15 se muestran los valores necesarios para calcular el coeficiente de fricción entre el muro de tierra y el cimiento. El valor calculado del coeficiente de fricción revela que se requiere de una fuerza aproximada al 17% del peso del muro M5, incluido los ensambles de shicras, para desacoplar al muro de tierra del cimiento.



Figura 57 Ensayo de carga cíclica del muro M6

En la figura 57 se aprecia el desplazamiento máximo del muro de tierra M6 en el ensayo. Al igual que en el ensayo con el muro M3, los ensambles de shicras elípticas se desplazan junto al muro. De este modo, se demuestra que es posible que ante la acción de una carga puntual se cree desacople del muro de tierra respecto al cimiento de concreto.

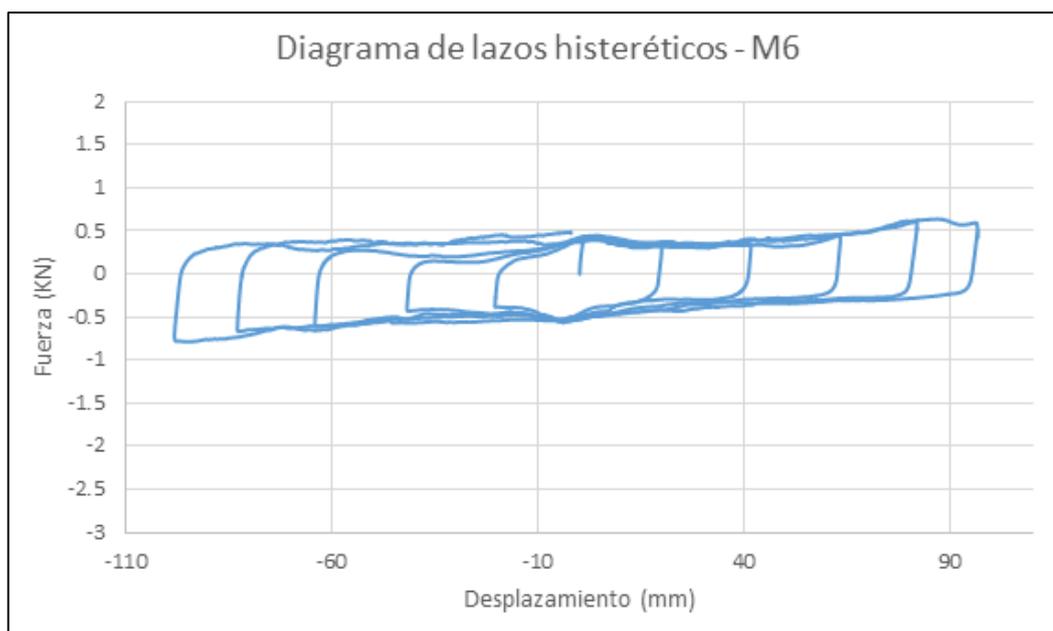


Figura 58 Diagrama de fuerza – desplazamiento del sobrecimiento con canicas con menor rugosidad

La figura 58 muestra que la presencia de menos tacos de madera en la primera capa del sobrecimiento, disminuye la oposición a la rodadura de las canicas. Por esto, la fuerza aproximada que inicia el desplazamiento continuo del muro es 0.4 kN. Finalmente, en la tabla 16 se muestra el coeficiente de fricción del muro M6, en la 1ra capa de su sobrecimiento.

Tabla 16 Cálculo del coeficiente de fricción del muro M6

Datos provenientes del ensayo de carga cíclica horizontal con el muro M6			
w	F		u
335.7 Kg	0.4 kN	40.8 Kg	0.12

En la tabla 16 se muestran los valores necesarios para calcular el coeficiente de fricción entre el muro de tierra y el cimiento. El valor calculado del coeficiente de fricción revela que se requiere de una fuerza aproximada al 12% del peso del muro M6, incluido los ensambles de shicras, para desacoplar al muro de tierra del cimiento.

5.1.2. Análisis de resultados

A continuación se hace la comparación y análisis de los resultados, junto a los de la investigación del MVCS. Para esto, en la tabla 17 se nombra a cada tipo de sobrecimiento evaluado (ver sub capítulo 2.4.). Asimismo, en la tabla 18 se presenta el resumen de coeficientes de fricción de todos los sobrecimientos.

Tabla 17 Renombre de sobrecimientos analizados en el proyecto del MVCS. Ref. Figura 6.

Referencia de sobrecimiento	Designación	Característica
Imagen (a)	B1	Ensamble de shicra elíptica
Imagen (c)	B2	Ensamble de shicras con piedras de 4 a 6"
Imagen (d)	B3	Ensamble de shicras con piedras de 5 a 7"
Imagen (e)	B4	Ensamble de shicras esféricas, con bolsa de malla de pescador

En la tabla 17 se muestra la designación de los sobrecimientos vistos en las imágenes (a), (c), (d) y (e) de la figura 6, sub capítulo 2.4. Esta designación es hecha para facilitar la referencia a los mismos. Asimismo, se hace una característica del elemento característico del sobrecimiento correspondiente.

Tabla 18 Resumen de coeficientes de fricción de cada sobrecimiento analizado.

Muro	u
B1	0.53*
B2	0.37*
B3	0.32*
B4	0.54*
M1	0.46
M2	0.40
M3	0.23
M4	0.40
M5	0.17
M6	0.12

*: MVCS, proceso de publicación

La tabla 18 muestra todos los coeficientes de fricción calculados en el ensayo de carga cíclica horizontal, junto a los obtenidos por el proyecto del MVCS. Este resumen de valores permite identificar qué muros poseen sobrecimientos que permiten con mayor facilidad el desacople del muro con el suelo. Asimismo, permite identificar los materiales que ocasionan este comportamiento.

Al analizar solo los resultados del proyecto del MVCS, se deduce que el sobrecimiento del muro B4 es el más resistente al desplazamiento. Esto pues

requiere de una fuerza de 54%, la mayor de todas, del peso propio para iniciar su desplazamiento respecto al suelo. El material que produce esto es bolsa de malla de pescador. Según esto, los ensambles de shicras esféricas, con cobertura de bolsa de malla de pescador, no son buenos para disipar la energía sísmica.

Asimismo, los sobrecimientos de los muros B2 y B3 son más lisos que los de B1 y B4. Esto pues sus coeficientes de fricción son 0.37, 0.32 que son menores a 0.53 y 0.54 respectivamente. Esto indica que los ensambles de shicras con piedras de 4 a 6" y 5 a 7" permiten mayor disipación de la energía por medio del desplazamiento. Sin embargo, las piedras más pesadas, son las que menor uniformidad de diámetro tienen unas con otras. Es decir, mientras más grandes son las piedras, menos similares son entre sí. De este modo, se pierde la forma esférica y no se produciría rodadura de las piedras, para finalmente dañar al muro de tierra ante solicitaciones sísmicas.

Al querer mejorar el comportamiento de los sobrecimientos B2 ó B3, se crearon los muros M2 y M4. Se agregaron platinas y platinas con piedras dentro de ellas, bajo los ensambles de shicras con piedras de 4 a 6" y 5 a 7". Sin embargo, los resultados en la tabla 18 muestran que las piedras agregadas entre las platinas no mejoran el comportamiento que el que no las tiene. Por tanto, la fricción no se disminuye al agregar platinas con o sin piedras entre ellas, bajo los ensambles de shicras con piedras de 4 a 6" ni de 5 a 7".

Como se ve en la tabla 18, se requiere de 46% del peso del muro M1 para desplazarlo con respecto al suelo; esto es debido al reacomodo de las piedras de la 1ra capa del sobrecimiento. Esto evidencia el comportamiento rígido del muro, el cual no es el adecuado para que se provoque disipación de energía sísmica. De este modo, el desplazamiento del muro no se mejora al colocar piedras bajo los ensambles de shicras usados como sobrecimiento.

Se demuestra que utilizar canicas y ensambles de shicras como parte del sobrecimiento de muros de tierra reducen su resistencia para desplazarse sobre su cimiento; estos son los casos de los muros M3 y M6, como se muestra en la tabla 18. Según esto, se generaría desplazamiento de los muros, el cual disminuya el daño que puedan recibir ante movimientos sísmicos

El valor del coeficiente de fricción representa el coeficiente de la aceleración del suelo,

expresada en “g”, que debe ocurrir para activar el desplazamiento de toda la estructura respecto a su cimiento. Por esto, los muros que ante menores solicitaciones sísmicas logren desplazarse, tienen sobrecimientos más eficaces. Así, los muros M3 y M6 para que empiecen a disipar energía sísmica requerirán de movimientos sísmicos con picos de aceleración mayor o igual a 0.12g ó 0.23g.

Tabla 19 Comparación de reducción del coeficiente de fricción

Relación de coeficientes de fricción		
Comparación de muros	Relación de coeficiente de fricción	Porcentaje de reducción del coeficiente de fricción
M1 y B1	87%	13%
M3 y B1	43%	57%
M5 y B4	31%	69%
M6 y B1	23%	77%

En la tabla 19 se observa la comparación de coeficientes de fricción de los sobrecimientos analizados en este Proyecto de Tesis y los del MVCS. Según esta comparación, el sobrecimiento en el que más se reduce el coeficiente de fricción es el del muro M6, en 77%.

El sobrecimiento del muro M5 es el 2do mejor en el que se reduce el coeficiente de fricción. Esta reducción se debe en parte, a que los rollizos transversales están sueltos con un margen de desplazamiento libre de 1.5 cm. Esto pues fueron colocados clavos sobre los rollizos longitudinales a esa distancia de los rollizos transversales. Por tanto, este sistema constructivo depende de los clavos para controlar el desplazamiento del muro.

5.2. Ensayo de simulación sísmica

4.2.1. Resultados

Los registros de aceleración son presentados en el anexo 1, dentro del CD al final de la tesis. A su vez, se muestran la comparación de las aceleraciones pico de los muros con el de la mesa vibradora.

4.2.2. Video

Al final de la tesis, se presenta un DVD con los videos del ensayo por medio de 4 cámaras filmadoras. La distribución de estas en el ensayo, se presenta en la figura 46.

4.2.3. Análisis de Resultados

El Potencial Destructivo (PD) es un parámetro que cuantifica la magnitud de daño que genera un sismo a través de su acelerograma. Según esto, se escoge el PD para comparar el daño que representan las aceleraciones de cada muro, y evaluar la influencia que tiene cada Prototipo de Sobrecimiento Aislante. A continuación se presentan los resultados del análisis de los acelerogramas respectivos a cada fase, presentes en el anexo 1.

Tabla 20 Comparación de Potencial Destructivo de los muros y del simulador sísmico para la fase 1.

Descripción de evento sísmico simulado	Item	$W_a(t_0)$ (10^{-2} $* g^2 sec$)	IA ($\frac{m}{sec}$)	$\frac{V_0}{s}$ ($\frac{crucesporcero}{s}$)	PD (10^{-4} $* g$ $* sec^3$)	PD (%)
Terremoto Ancash, 1970. Simulado. Fase 1. Dmax=30mm	Mesa	7.53	1.16	9.58	12.89	100
	M1	11.95	1.84	10.32	17.62	137
	M2	15.55	2.40	8.29	32.54	276
	M3	13.64	2.10	11.61	15.89	123
	M4	20.71	3.19	6.74	71.58	556
	M5	13.18	2.03	5.48	68.86	534
	M6	11.83	1.82	9.13	22.30	173

Mesa: Simulador sísmico

En la tabla 20 se observan los cálculos necesarios para obtener el Potencial Destructivo del movimiento de cada muro. De acuerdo a estos resultados para un sismo leve, intensidad menor a III, no hay algún tipo de sobrecimiento que reduzca el Potencial Destructivo que representa el movimiento del simulador sísmico. Esto significa que ningún sobrecimiento analizado disipa energía en sismos leves.

Los sobrecimientos de los muros M1 y M3 son los que menos amplifican el Potencial Destructivo. Esto pues sólo aumentan en 37 y 23% respectivamente el Potencial Destructivo del movimiento del simulador sísmico, que equivale a $12.89 * 10^{-4} g * s^3$. Esto significa que amplifican la magnitud de daño en los muros de tierra hasta en 37%. De otro modo, los sobrecimientos que causan mayor amplificación del Potencial Destructivo del movimiento del suelo, es el de los muros M4 y M5 en 556 y 534%. De este modo, se podría causar mayor daño en los muros de tierra respectivos.

Tabla 21 Comparación de Potencial Destructivo de los muros y de la mesa vibradora para fase 2.

Descripción de evento sísmico simulado	Item	Wa(to) (10^{-2} $* g^2 sec$)	IA ($\frac{m}{sec}$)	ν_0 ($\frac{crucesporcero}{s}$)	PD (10^{-4} $* g$ $* sec^3$)	PD (%)
Terremoto Ancash, 1970. Simulado. Fase 2. Dmax=60mm	Mesa	34.78	5.36	10.24	52.13	100
	M1	75.37	11.61	6.17	310.64	596
	M2	57.12	8.80	5.74	272.41	523
	M3	33.83	5.21	9.21	62.59	120
	M4	59.20	9.12	4.56	447.15	858
	M5	60.88	9.38	4.03	587.99	1128
	M6	13.51	2.08	6.30	53.52	103

Mesa: Simulador sísmico

En la tabla 21 se observan los cálculos necesarios para obtener el Potencial Destructivo del movimiento de cada muro. De acuerdo a estos resultados, para sismos de intensidad moderada, intensidad entre IV y VII, no hay algún tipo de sobrecimiento que reduzca el Potencial Destructivo que representa el movimiento del simulador sísmico, que equivale a $52.13 * 10^{-4} g * s^3$. Esto significa que no hay sobrecimiento que disipe la energía sísmica en sismos de intensidad moderada.

Los sobrecimientos de los muros M3 y M6 son los que menos amplifican el Potencial Destructivo. Esto pues sólo aumenta en 20 y 3% respectivamente, el Potencial Destructivo del movimiento del simulador sísmico, que equivale a $52.13 * 10^{-4} g * s^3$. Esto significa que provocan una magnitud de daño hasta 20% más que la del simulador sísmico. De otro modo, el sobrecimiento que transmite una mayor magnitud de daño es el de los muros M4 y M5 pues generan un Potencial Destructivo de 496 y 1028% mayor al del suelo.

Tabla 22 Comparación de Potencial Destructivo de los muros y de la mesa vibradora para fase 3.

Descripción de evento sísmico simulado	Item	Wa(to) (10^{-2} $* g^2 sec$)	IA ($\frac{m}{sec}$)	ν_0 ($\frac{crucesporcero}{s}$)	PD (10^{-4} $* g$ $* sec^3$)	PD (%)
Terremoto Ancash, 1970. Simulado. Fase 3. Dmax=90mm	Mesa	77.03	11.87	8.86	154.07	100
	M1	115.45	17.79	7.12	358.10	232
	M2	91.36	14.08	6.18	376.17	244
	M3	54.54	8.40	7.96	135.36	88
	M4	89.86	13.85	5.24	514.75	334
	M5	50.86	7.84	5.27	287.64	187
	M6	26.31	4.05	6.95	85.59	56

Mesa: Simulador sísmico

En la tabla 22 se observan los cálculos necesarios para obtener el Potencial Destructivo del movimiento de cada muro. De acuerdo a estos, para sismos fuertes, intensidad entre VIII y X, los sobrecimientos de los muros M3 y M6 son los únicos que reducen el Potencial Destructivo del movimiento del simulador sísmico. Esto significa que los sobrecimientos de los muros M3 y M6 tienen la capacidad de reducir la energía sísmica para sismos fuertes, también llamados terremotos. Así, la reducción del Potencial Destructivo del movimiento del suelo, que equivale a $154.07 * 10^{-4} g * s^3$, es del orden de 12 y 44% respectivamente.

La reducción de la magnitud de daño del movimiento del simulador sísmico es debido al desacople del muro de tierra respecto al suelo. Para esto, el sobrecimiento de los muros M3 y M6 son los que tiene mejor comportamiento para desacoplarse respecto al suelo. De otro modo, los restantes sobrecimientos analizados transmiten mayor magnitud de daño a los muros de tierra. Por lo que, son muy rugosos y no permiten el desplazamiento relativo del sobrecimiento.

Tabla 23 Comparación de Potencial Destructivo de los muros y de la mesa vibradora para fase 4.

Descripción de evento sísmico simulado	Item	Wa(to) ($10^{-2} * g^2 sec$)	IA ($\frac{m}{sec}$)	$\frac{V_o}{s}$ (<i>crucesporcero</i>)	PD ($10^{-4} * g * sec^3$)	PD (%)
Terremoto Ancash, 1970. Simulado. Fase 4. Dmax=130mm	Mesa	149.95	23.11	9.36	269.15	100
	M1	310.35	47.82	6.68	1093.33	406
	M2	417.52	64.34	8.32	946.85	352
	M3	76.78	11.83	7.52	213.50	79
	M4	305.73	47.11	4.74	2135.73	794
	M5	87.12	13.42	6.23	353.04	131
	M6	41.58	6.41	6.23	168.52	63

Mesa: Simulador sísmico

En la tabla 23 se observan los cálculos necesarios para obtener el Potencial Destructivo del movimiento de cada muro. Según a estos, para movimientos sísmicos muy fuertes, intensidad entre VIII y X, los sobrecimientos de los muros M3 y M6 son los que reducen el Potencial Destructivo del movimiento del simulador sísmico. Esto significa que los sobrecimientos de los muros M3 y M6 tienen la capacidad de reducir la energía sísmica para movimientos sísmicos muy fuertes, también llamados terremotos muy fuertes. Así, la reducción del Potencial Destructivo, que equivale a $269.15 * 10^{-4} g * s^3$, es del orden de 21 y 37% respectivamente.

La reducción de la magnitud de daño del movimiento del simulador sísmico es debido al desacople del muro de tierra respecto al suelo. Para esto, el sobrecimiento de los muros M3 y M6 son los que tiene mejor comportamiento para desacoplarse respecto al suelo. De otro modo, los restantes sobrecimientos analizados transmiten mayor magnitud de daño a los muros de tierra. Por lo que, son muy rugosos y no permiten el desplazamiento relativo del sobrecimiento.



Capítulo 6: Conclusiones

No se ha conseguido aislar completamente a los muros de tierra del suelo mediante el uso de shicras rellenas con piedras como parte del sobrecimiento. Sin embargo, si se ha logrado disipar energía sísmica. Por lo tanto, los sobrecimientos compuestos con shicras rellenas con piedras pueden ser utilizados como disipadores.

El sobrecimiento conformado por ensambles de shicras elípticas, y 28 canicas con 4 tacos de madera como primera capa es el mejor disipador de energía sísmica. Según los coeficientes de fricción calculados tras el ensayo de fuerza cíclica horizontal, el sobrecimiento con mayor capacidad de disipación de energía sísmica es el del muro M6. Su coeficiente de fricción equivale a 0.12 y es el único que se encuentra dentro del intervalo $\langle 0.05, 0.15 \rangle$. Asimismo, según los resultados del ensayo de simulación sísmica, el sobrecimiento del muro M6 es el que tiene el menor Potencial Destructivo en todas las fases, a partir de la fase 2. El Potencial Destructivo de este sobrecimiento, es 63% del movimiento del simulador sísmico para sismos muy fuertes. Para sismos fuertes, su Potencial es 56% del simulador sísmico. Para sismos de intensidad moderada y leve es 103% y 120% respectivamente del simulador sísmico, manteniendo así el movimiento del mismo. Por tanto, se espera que mediante el uso de este sobrecimiento, se disminuyan los daños en muros de tierra reforzada ante sismos.

Capítulo 7. Futuras líneas de investigación

Es necesario conocer los límites de canicas y tacos de madera, para generar disipación del movimiento del suelo, en el muro de tierra. La forma más eficiente de conocer estos límites es experimentalmente con pesos y tamaños reales. Por tanto una futura línea de investigación consiste en conseguir nuevas combinaciones de los materiales y escoger aquellos que mantienen un coeficiente de fricción en el intervalo $<0.05, 0.15>$, para ser evaluados en ensayos dinámicos. Estos ensayos dinámicos deberían ser con construcciones de tierra de escala real.

Asimismo, es importante conocer la importancia del tamaño de las piedras en la disipación de energía sísmica. Por tanto, una nueva línea de investigación es sobre la importancia del diámetro de las piedras, usadas como sobrecimiento, para disipar energía sísmica en muros de tierra.



Recomendaciones

Para nuevas investigaciones para la disipación de energía sísmica en muros de tierra, se recomienda utilizar el ensayo de carga cíclica horizontal para descartar materiales. Por medio de este ensayo, se agiliza la investigación de materiales accesibles destinados a mejorar el comportamiento dinámico de muros de tierra reforzada.



Bibliografía

- ARAYA R., SARAGONI G.R.
s/a Earthquake Accelerogram Destructiveness Potential Factor.
Consulta: 13 de Mayo de 2017.
<http://www.iitk.ac.in/nicee/wcee/article/8_vol2_835.pdf>
- ASENCIOS, Rodolfo
2009 Investigaciones de las Shicras en el sitio pre-cerámico de Cerro Lampay. Tesis para optar el título profesional de Licenciado en Arqueología. Lima: Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Facultad de Ciencias Sociales Escuela Académico Profesional de Arqueología.
- EL PERUANO
2017a “Anexo 2”. NTP E.080 Diseño y construcción con tierra reforzada. Lima, 7 de Abril de 2017, pp 20.
2017b “Anexo 4”. NTP E.080 Diseño y construcción con tierra reforzada. Lima, 19 de Abril de 2017, pp 21.
2017c “Criterios de configuración de las edificaciones de tierra reforzada”. NTP E.080 Diseño y construcción con tierra reforzada. Lima, 05 de mayo de 2018, pp 9.
2017d “Recomendaciones para el ajuste de lazos verticales y horizontales para los refuerzos con mallas de sogas sintéticas”. NTP E.080 Diseño y construcción con tierra reforzada. Lima 7 de Abril de 2017, pp. 21-24.
2016 “Anexo N°01 Zonificación Sísmica”. RNE E.030 Diseño Sismorresistente. Lima, 24 de Enero de 2016
- FERRI, Jaime, Vicente PÉREZ, Encarnación GARCÍA y Asunción LÓPEZ
2010 “Tierra”. Principios de Construcción. España: Club Universitario, pp 86 - 87 Consulta: 6 de Junio de 2017
<https://books.google.com.pe/books?id=R3M6DwAAQBAJ&pg=PA84&dq=%E2%80%9CTierra%E2%80%9D.+Principios+de+Construcci%C3%B3n.&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwi20civr4dLXAhUjmeAKHRc>

nAjYQ6AEIJDA#v=onpage&q=%E2%80%9CTierra%E2%80%9D.
%20Principios%20de%20Construcci%C3%B3n.&f=false

- FUKUYAMA, Hiroshi et al.
2014 “Shaking Table Test on Seismic Response Properties of ‘Shicras’, Stones Wrapped in Vegetable Fiber Bags”. Consulta: 5 de junio de 2017.
<<https://www.fujipress.jp/jdr/dr/dsstr000800030526/>>
- INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA E INFORMÁTICA (INEI)
2013 Censo Nacional 2013: Estado de la Población Peruana. Lima: Instituto Nacional de Estadística e Informática. Consulta: 3 de Junio de 2017.
<<https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/noticias/nota-de-prensa-n-083-2014-inei.pdf>>

2008 Censos Nacionales 2007: XI de Población y VI de vivienda. Perfil Sociodemográfico del Perú. Lima: Instituto Nacional de Estadística e Informática. 2da edición. Consulta: 3 de Junio de 2017.
<https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digitales/Est/Lib1136/libro.pdf>
- INSTITUTO NACIONAL DE DEFENSA CIVIL (INDECI)
2007 “Desastres 2007 Sismo del 15 de Agosto. Consulta: 28 de mayo de 2017”. *Compendio estadístico de Atención y Prevención de Desastres 2007*. Lima, pp. 2. Consulta: 7 de Junio de 2017.
<[http://www2.congreso.gob.pe/sicr/cendocbib/con4_uibd.nsf/71A58D4A0EB5113B05257E7E0061BAB8/\\$FILE/1_pdfsam_5_desastres.pdf](http://www2.congreso.gob.pe/sicr/cendocbib/con4_uibd.nsf/71A58D4A0EB5113B05257E7E0061BAB8/$FILE/1_pdfsam_5_desastres.pdf)>
- RADHIKESH, P. Nanda; MANISH, Shriklande; PANKAJ, Agarwat
2016 “Low-Cost Base-Isolation System for Seismic Protection of Rural Buildings”. Consulta 30 Noviembre de 2017. Base de datos: ascelibrary.org

- SARAGONI, Rodolfo et al.
2008 “Study of the Accelerogram Destructiveness of Nazca Plate Subduction Earthquakes”. Ponencia presenta en *The 14th World Conference on Earthquake Engineering. Beijing, 17 de Diciembre de 2008. Consulta 13 de Mayo de 2017.*
<<http://www.14wcee.org/Proceedings/files/02-0055.PDF>>
- SOSA, SOTO
2014 Reparación de Muros de Construcciones Históricas de Tierra Mediante el Sellado de Fisuras y Refuerzos Estructurales Adicionales. Tesis para optar el grado académico de Magister en Ingeniería Civil. Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú, Centro de Innovación Académica.
- UNESCO, WHC
s/a Ciudad Sagrada de Caral – Supe. Consulta: 25 de Agosto de 2017.
<Whc.unesco.org/es/list/1269>
- VARGAS, Julio et al.
2012 “Sismo Resistencia en las Entrañas de Caral.” Ponencia presentada en la XI Conferencia Internacional sobre el Estudio y Conservación del Patrimonio Arquitectónico de Tierra. Comité Científico Internacional del Patrimonio en Tierra (ICOMOS/ISCEAH) y la Pontificia Universidad Católica del Perú (PUCP). Lima. 25 de Abril del 2012. Consulta 25 de mayo de 2017.
<[Http://docplayer.es/11226609-Sismo-resistencia-en-las-entranas-de-caral](http://docplayer.es/11226609-Sismo-resistencia-en-las-entranas-de-caral)>