

UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
Escuela Profesional de Ingeniería Civil



Una Institución Adventista

**Evaluación de la influencia de una capa Arena-Caucho en el
aislamiento sísmico en edificaciones comunes**

Por:

Lourdes Huicho Miguel

Asesor:

Ing. Roberto Roland Yoctun Rios

Lima, septiembre 2020

DECLARACIÓN JURADA DE AUTORÍA DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

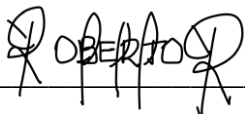
Ing. Roberto Roland Yoctun Rios, de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Escuela Profesional de Ingeniería Civil, de la Universidad Peruana Unión.

DECLARO:

Que el presente trabajo de investigación titulado: “EVALUACIÓN DE LA INFLUENCIA DE UNA CAPA ARENA-CAUCHO EN EL AISLAMIENTO SÍSMICO EN EDIFICACIONES COMUNES” constituye la memoria que presenta la estudiante Lourdes Huicho Miguel para aspirar al grado de bachiller en Ingeniería Civil, cuyo trabajo de investigación ha sido realizado en la Universidad Peruana Unión bajo mi dirección.

Las opiniones y declaraciones en este trabajo de investigación son de entera responsabilidad del autor, sin comprometer a la institución.

Y estando de acuerdo, firmo la presente declaración en Lima a los 21 días del mes de septiembre del año 2020.

Handwritten signature of Roberto Roland Yoctun Rios in black ink, written over a horizontal line.

Ing. Roberto Roland Yoctun Rios

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

En Lima, Ñaña, Villa Unión, a.....los.....18.....día(s) del mes de.....setiembre.....del año 2020.... Siendo las.....12:45.....horas, se reunieron los miembros del jurado en la Universidad Peruana Unión campus Lima, bajo la dirección del (de la) presidente(a):Ing. Ferrer Canaza Rojas....., el (la) secretario(a): Mg. Leonel Chahuares Paucar..... y los demás miembros: Ing. Fiorella Zapata Antezana.....y el (la) asesor(a)...Ing. Roberto Roland Yoctún Ríos.....con el propósito de administrar el acto académico de sustentación del trabajo de investigación titulado: "Evaluación de la Influencia de una capa Arena-Caucho en el aislamiento sísmico en edificaciones comunes". de los (las) egresados (as):a).....**LOURDES HUICHO MIGUEL**.....
.....b).....
conducente a la obtención del grado académico de Bachiller en:

.....**INGENIERÍA CIVIL**.....

(Denominación del Grado Académico de Bachiller)

El Presidente inició el acto académico de sustentación invitando al candidato(a)/s hacer uso del tiempo determinado para su exposición. Concluida la exposición, el Presidente invitó a los demás miembros del jurado a efectuar las preguntas, y aclaraciones pertinentes, las cuales fueron absueltas por el candidato(a)/s. Luego, se produjo un receso para las deliberaciones y la emisión del dictamen del jurado.

Posteriormente, el jurado procedió a dejar constancia escrita sobre la evaluación en la presente acta, con el dictamen siguiente:

Candidato/a (a): **LOURDES HUICHO MIGUEL**.....

CALIFICACIÓN	ESCALAS			Mérito
	Vigesimal	Literal	Cualitativa	
APROBADO	16	B	BUENO	MUY BUENO

Candidato/a (b):

CALIFICACIÓN	ESCALAS			Mérito
	Vigesimal	Literal	Cualitativa	

(*) Ver parte posterior

Finalmente, el Presidente del jurado invitó ... al.... candidato(a)/s a ponerse de pie, para recibir la evaluación final y concluir el acto académico de sustentación procediéndose a registrar las firmas respectivas.

Presidente

Ing. Ferrer Canaza Rojas



Secretario
Mg. Leonel Chahuares
Paucar

Asesor

Ing. Roberto Roland
Yoctun Rios

Miembro

Miembro
Ing. Fiorella Zapata
Antezana



Candidato (a)
Lourdes Huicho Miguel

Candidato/a (b)

Evaluación de la influencia de una capa Arena-Caucho en el aislamiento sísmico en edificaciones comunes

Evaluation of the influence of a Sand-Rubber layer on seismic insulation in common buildings

HUICHO MIGUEL LORDES*

EP. Ingeniería Civil, Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Universidad Peruana Unión, Perú

Resumen

La siguiente revisión tiene el objetivo de evaluar la influencia de una capa arena-caucho en el aislamiento sísmico en edificaciones comunes, se investiga las características de la mezcla de arena-caucho de diferentes en altura y tamaño de grano dando uso los métodos de: ensayo del corte directo y el experimento en la mesa vibratoria. La prueba de corte directo se realiza para cuantificar el ángulo de fricción obtenidas a diferentes tensiones verticales. Se utiliza la mesa vibratoria para determinar su comportamiento dinámico de un bloque deslizante rígido que representa a la estructura y la cuantificación de la fricción cinética para alturas de capas diferentes de la mezcla de arena-caucho, el bloque deslizante rígido está sujeto tanto a una carga de rampa armónica como a una excitación por movimiento del suelo causado por terremotos, la relación optima del tamaño de grano y la altura de capa de arena-caucho corresponderá al coeficiente de fricción más bajo y la más favorable como un aislador sísmico.

Palabras claves: Capa de arena-caucho, aislamiento sísmico, corte directo, ángulo de fricción, mesa de vibración.

Abstract

The following review aims to evaluate the influence of a sand-rubber layer on seismic isolation in common buildings, the characteristics of the sand-rubber mixture of different height and grain size are investigated using the methods of: test direct cutting and experiment on the vibrating table. The direct shear test is performed to quantify the friction angle obtained at different vertical stresses. The vibrating table is used to determine its dynamic behavior of a rigid sliding block representing the structure and the quantification of kinetic friction for different layer heights of the sand-rubber mixture, the rigid sliding block is subject to both a load From harmonic ramping as to a ground motion excitation caused by earthquakes, the optimal ratio of grain size and sand-rubber layer height will correspond to the lowest and most favorable coefficient of friction as a seismic isolator.

Keywords: Sand-rubber layer, seismic isolation, direct shear, coefficient of friction, shaking table.

*Correspondencia del autor: Distrito de Tambo la Mar, Ayacucho.

E-mail: lourdeshuicho@upeu.edu.pe

1. Introducción

De acuerdo a las cifras de una empresa aseguradora de un total de 1,022,200 víctimas causadas por 10 catástrofes en los últimos 25 años el 60.38% son instigados por eventos de origen sísmico (Genatios & Lafuente, 2016), a esto se le atribuye las pérdidas económicas, las cuales son un factor negativo en el avance de un país, más aun si es uno que está en desarrollo.

El terremoto o sismo es un movimiento vibratorio del suelo que cambia el estado relativo de reposo y con ello al cuerpo que se asiente directamente, las cuales afectan a las construcciones haciendo que estas sobrepasen el esfuerzo lateral y terminen en un desconcierto (Madrid, 1998), de acuerdo a (Takagi & Wada, 2019) los avances tecnológicos nunca eliminarán los desastres causados por los terremotos, pero si se puede vivir con ellos en una mejor relación, con un desarrollo tecnológico para generar estructuras de construcción resilientes contra grandes terremotos, de acuerdo a (comité técnico de la norma de diseño sismorresistente, 2018) las edificaciones esenciales de categoría A1 tienen aislamiento sísmico en la base cuando se encuentren en las zonas sísmica 4 y 3, en las zonas sísmicas 1 y 2 la entidad responsable puede decidir en usar o no un aislamiento sísmico, ante este reglamento la gran mayoría no consideran en colocar un aislador sísmico en las construcciones comunes, además su costo inicial de las construcciones aumenta más del 2% (Tsiavos et al., 2019). De acuerdo a (Takagi & Wada, 2019) el diseño sísmico se desarrolla para permitir que las construcciones soporten grandes terremotos y reduzcan las pérdidas de vidas humanas y económicas.

Se conoce que uno de los materiales de los aisladores son láminas de caucho y acero y que los neumáticos contienen: caucho, metal y fibras la cuales dan las características de flexo compresión y aislamientos acústico y térmico, asimismo tienen la capacidad de absorción de vibraciones, por lo que es usable para disminuir las fuerzas sísmicas en una construcción al combinar con arena como una capa más del suelo que soportara a la estructura.

El almacenamiento de neumáticos es muy indeseable ya que esto causa la contaminación del medio ambiente y riesgos para la salud, también se queman gran cantidad de estos materiales, cuando este se puede reutilizar en muchas áreas de la ingeniería (Anvari, Shooshpasha, & Kutanaei, 2017) como es el caso ya mencionado como parte de un aislador sísmico de bajo costo.

De acuerdo a (Banović, Radnić, & Grgić, 2019) hay indicios de que los constructores antiguos utilizaron materiales naturales (arena, piedra, vigas de madera, etc.) con el propósito no solo de aumentar la capacidad de carga del suelo sino también de reducir las fuerzas sísmicas en los edificios.

De allí la importancia de este artículo la cual tiene como objetivo el poder evaluar la influencia de una capa de Arena-Caucho en el aislamiento sísmico de bajo costo, primero obteniendo su Angulo

*Correspondencia del autor: Distrito de Tambo la Mar, Ayacucho.
E-mail: lourdeshuicho@upeu.edu.pe

de fricción de mezclas con diferentes relaciones de tamaño de grano de arena y caucho con el ensayo de corte directo, posteriormente se realizan experimentos con la mesa de sacudida, donde sus contantes fueron las amplitudes, aceleraciones y desplazamientos.

Además, la deformabilidad del suelo y características como alternativa de aislador sísmico ya fueron estudiados ampliamente en el pasado, como (Trifunac & Todorovska, 1998) menciona que en un terremoto ocurrido los edificios en suelos "blandos", que experimentaron niveles de deformación no lineal, sufrieron daños en menor grado, posiblemente porque el suelo absorbió una parte significativa de la energía de las ondas sísmicas incidente.

Por tal motivo no se debe obviar la interacción dinámica del suelo con la estructura, de acuerdo a (Castaldo & Ripani, 2016) , la deformación del suelo influye en gran manera sobre las características óptimas de la fricción de los puentes sísmicamente aislados con el único fin de optimizar el costo de construcción.

(Lee, Dodds, & Santamarina, 2007) determinaron los parámetros fundamentales que influyen en la respuesta mecánica y la deformabilidad de las mezclas granuladas de arena y caucho. Estos parámetros son:

- La relación del tamaño medio de grano de partícula entre el caucho $D_{50,r}$ y granos de arena $D_{50,s}$
- La fracción de volumen de caucho (F_R) en la mezcla.

2. Desarrollo

2.1. Ensayo del corte directo de mezclas de Arena-Caucho

A lo largo de la historia se fueron modificando el equipo del corte directo, tratando de adoptar a su función principal y evitando errores como (Jewell, 1989) en la rotación de la plataforma de carga, en este artículo de revisión se utilizó el aparato propuesto por (Lings & Dietz, 2004) la cual se muestra en la figura 1 y 2, contiene dos alas atreves de las cuales se aplica la carga de corte evitando rotaciones , con el objetivo de cuantificar el ángulo de fricción (ϕ). Este modelo también fue utilizado por (O'Rourke, 2010) en su artículo titulado "*Geopeligros y grandes sistemas distribuidos geográficamente*" , donde clasifican el suelo con experimentos a gran escala y recomiendan que el tamaño del equipo de corte directo tiene un significativo efecto sobre la fuerza de corte y dan un enfoque a la interacción del suelo con la estructura la gran concordancia que tienen con el prototipo a escala que utilizan en este experimento.

*Correspondencia del autor: Distrito de Tambo la Mar, Ayacucho.
E-mail: lourdeshuicho@upeu.edu.pe

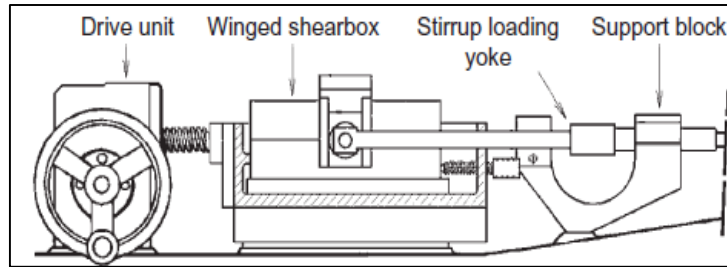


Figure 1. Aparato de corte directo de (Lings & Dietz, 2004), vista en perfil.

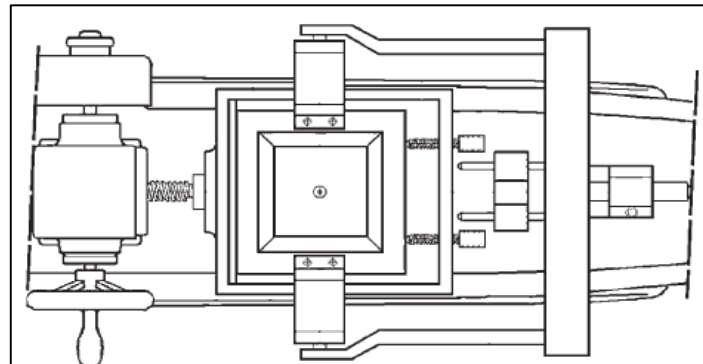


Figure 2. Aparato de (Lings & Dietz, 2004), vista en planta.

(Tsiavos et al., 2019) realizó mezclas de arena-caucho con diferentes porcentajes de contenido y se aplicaron tres niveles de tensiones efectivas verticales diferentes: $\sigma'_v = 10$ kpa, $\sigma'_v = 20$ kpa y $\sigma'_v = 30$ kpa, estos valores representan los esfuerzos típicos sobre las bases de soluciones de bajo costo en una sola planta de una vivienda y escuelas en países en desarrollo.

El esfuerzo de cimentación de $\sigma'_v = 30$ kpa corresponde a una estructura de mampostería la cual consta de una sala de 4 * 4 m, de una sola planta con una losa de 0.20 m apoyado en muros de mampostería reforzada o no reforzada con 3 m de altura y 0.40m de espesor.

El esfuerzo de $\sigma'_v = 10$ kpa corresponde a un aula de escuela de 6 *8 m de área, con un techo de acero ligero soportado por paredes de mampostería de 2 m de altura y 0.40 m de espesor, atreves de columnas de aceros tubulares.

De acuerdo a (Rouhanifar y Ibraima, 2015) la variación de tensiones entre estos dos casos se genera principalmente en la diferencia de la losa de concreto y el techo de acero ligero respectivamente.

El volumen de la fracción de caucho en una mezcla de arena-caucho se encuentra con la siguiente expresión:

*Correspondencia del autor: Distrito de Tambo la Mar, Ayacucho.
E-mail: lourdeshuicho@upeu.edu.pe

$$F_R = \frac{V_R}{V_R + V_S}$$

De donde:

Fr: Fracción de caucho

V_R : Volumen de caucho en la mezcla

V_S : volumen de arena en la mezcla

De acuerdo a Rouhanifar y Ibraima se utiliza el $F_R=50\%$ para exceder el umbral para el comportamiento dominado por el caucho de la mezcla arena-caucho y para facilitar la selección de los ingredientes de la mezcla.

El tamaño de grano y el coeficiente de uniformidad fueron otros parámetros importantes en el comportamiento de la capa arena-caucho, la siguiente tabla muestra los detalles:

Table 1. Tamaños de grano medios y relaciones de distribución de tamaño de grano relativo para tres diferentes mezclas de arena-Caucho (Tsiavos et al., 2019)

	Rubber		Sand		$D_{50,r}/D_{50,s}$
	$D_{50,r}$ (mm)	Coefficient of uniformity $C_{u,r} = D_{60,r}/D_{10,r}$	$D_{50,s}$ (mm)	Coefficient of uniformity $C_{u,s} = D_{60,s}/D_{10,s}$	
Mixture 1	1.6	1.57	0.8	1.37	2
Mixture 2	1	2.02	0.2	2.22	5
Mixture 3	2	2.56	0.2	2.22	10

La gravedad específica del caucho es $Gr= 1.04$ quien pertenece a neumáticos triturados las cuales se pueden encontrar fácilmente en países de bajos ingresos, cada partícula de caucho está conformada del 56% de polímeros, 5-20% de acetona, 25-35% de carbón negro, 15% de cenizas y 1-3% de azufre (Lopera Perez, Kwork, & Senetakis, 2018)

Para la evaluación se utilizan dos tipos de arenas la **Leighton Buzzard**, para la mezcla N° 1, con $e_{max}=0.84$, $e_{min}=0.53$, con una gravedad específica de $G_s=2.65$.

Para la mezcla N° 2 y 3 se utilizaron la arena **Redhill**, con $e_{max}=1.04$, $e_{min}=0.61$, con una gravedad específica de $G_s=2.65$ (Lombardi, Bhattacharya, Hyodo, & Kaneko, 2014)

*Correspondencia del autor: Distrito de Tambo la Mar, Ayacucho.
E-mail: lourdeshuicho@upeu.edu.pe

Finalmente se realiza la prueba del corte directo a las tres mezclas por separado, sin un interfaz y colocando una interfaz de madera, como se observa en la figura 3.



Figure 3. Ensayo del corte directo con una interfaz de madera (Tsiavos et al., 2019)

(Anbazhagan, Manohar, & Rohit, 2017) realizaron el ensayo también con tres tensiones verticales diferentes de 16 Kpa, 32 Kpa y 80 Kpa , asimismo clasifican el tamaño del caucho de la siguiente manera:

Table 2. La clasificación de los granos de caucho de acuerdo a (Anbazhagan, Manohar, & Rohit, 2017)

Grupo	Tamaño	Gravedad específica	Densidad (KN/m ³)
I	1 mm – 2 mm	1.11	4.7
II	2mm - 4.75mm	1.13	5.4
III	4.75 mm – 5.6mm	1.14	6.2
IV	5.6mm – 8mm	1.14	6.45
V	8mm – 9.5 mm	1.16	6.71
VI	9.5mm - 12.5mm	1.17	6.9
VII	12.5 mm - 20mm	1.16	6.6

Table 3. Especificaciones de la arena (Anbazhagan et al., 2017)

Description	Sand-A	Sand-B
Effective size, D_{10}	0.2 mm	0.18 mm
D_{30}	0.4 mm	0.28 mm
Mean size, D_{50}	0.6 mm	0.50 mm
D_{60}	0.71 mm	0.60 mm
Uniformity coefficient	3.55	3.33
Curvature coefficient	1.13	0.726
Specific Gravity	2.65	2.64
Maximum dry density	1.786 g/cc	1.671 g/cc
Minimum dry density	1.434 g/cc	1.354 g/cc
Relative density adopted	80%	80%
Friction angle	35.17°	41.09°

De la tabla 3 la arena tipo A se refiere a que es bien graduada mientras que la B es mal graduada. La velocidad que se utilizó fue a 1 mm / minuto.

*Correspondencia del autor: Distrito de Tambo la Mar, Ayacucho.
E-mail: lourdeshuicho@upeu.edu.pe

2.2. Resultados de la prueba de corte directo de las mezclas de arena-caucho

De acuerdo al ensayo realizado se obtuvieron curvas, con cada esfuerzo aplicada y en cada relación de caucho-arena.

2.2.1. Resultados de la mezcla 1, $\frac{D_{50,r}}{D_{50,s}} = 2$ con un $\sigma'_v = 30$ kpa (Tsiavos et al., 2019)

La velocidad de corte aplicada fue 0.5 mm/min.

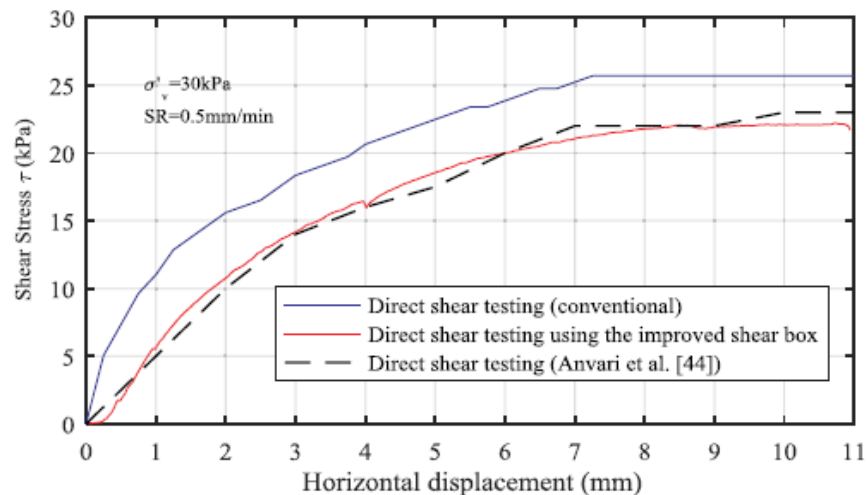


Figure 4. Curva de esfuerzo de corte-desplazamiento horizontal debido a la prueba de corte directo usando el (a) El aparato de corte directo de uso común (b) El aparato de corte directo modificado de (Lings & Dietz, 2004). Comparación con los resultados de desplazamiento de esfuerzo cortante obtenidos por (Anvari et al., 2017) para la misma mezcla de arena y caucho en las mismas condiciones de tensión vertical.

Los resultados de los esfuerzos cortantes con el aparato mejorada son menores en un 15% que con los del aparato de corte directo común.

2.2.2. Resultados de la mezcla 1 y $\frac{D_{50,r}}{D_{50,s}} = 2$ (Tsiavos et al., 2019) y el caucho que pertenece al grupo VI de acuerdo a (Anbazhagan et al., 2017)

En la siguiente figura 5 se observa los resultados del corte directo con cada esfuerzo: $\sigma'_v = 10$ kpa, $\sigma'_v = 20$ kpa y $\sigma'_v = 30$ kpa, utilizando el aparato mejorado de (Lings & Dietz, 2004)

*Correspondencia del autor: Distrito de Tambo la Mar, Ayacucho.
E-mail: lourdeshuicho@upeu.edu.pe

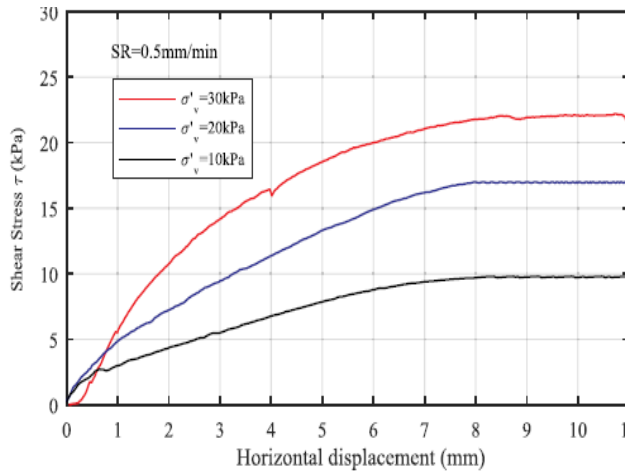


Figure 5. Curva de esfuerzo de corte-desplazamiento horizontal debido a la prueba de corte directo de una mezcla de arena-caucho con relación de grano = 2 sometidos a tensión vertical $\sigma'v = 30$ kPa, $\sigma'v = 20$ kPa y $\sigma'v = 10$ kPa utilizando el aparato de corte directo modificado de (Lings & Dietz, 2004).

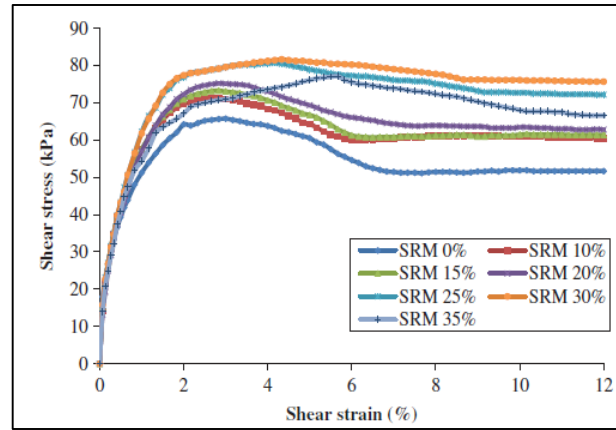


Figure 6. Gráfico de Esfuerzo cortante - Deformación para caucho granulado tamaño VI a una tensión normal de 80 kPa para varios porcentajes de caucho

De acuerdo a la figura 5, los esfuerzos cortantes disminuyen para valores bajos de esfuerzo vertical, esto mismo se puede observar en la figura 6 y 7, de acuerdo a (Anbazhagan et al., 2017), quienes realizan el mismo ensayo con esfuerzos verticales: $\sigma'v = 16$ kPa, $\sigma'v = 32$ kPa y $\sigma'v = 80$ kPa

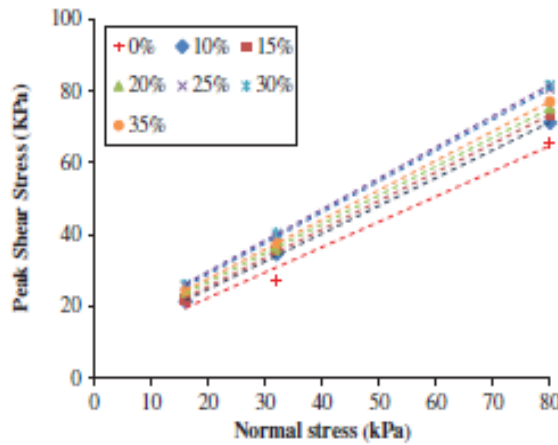


Figure 7. Gráfico típico para la variación del esfuerzo cortante con el esfuerzo normal para diferentes porcentajes de caucho (Anbazhagan et al., 2017).

*Correspondencia del autor: Distrito de Tambo la Mar, Ayacucho.
E-mail: lourdeshuicho@upeu.edu.pe

2.2.3. Resultados de ensayo de corte directo en arena y caucho puro.

El beneficio de la mezcla de arena-caucho es que disminuyen el ángulo de fricción a comparación con una arena pura, como se puede mostrar en la Figura 8 el ángulo de fricción de la mezcla es de $\phi=20^\circ$ para un desplazamiento de 1mm, pasa lo contrario en los desplazamientos mayores que 5 mm, aumenta el ángulo de fricción de la mezcla, $\phi=40^\circ$.

El $\tan(20^\circ) = 0.36$, la superación de este coeficiente para una aceleración del movimiento del suelo de un terremoto de 0.36 g podría desencadenar un mecanismo de falla dentro de esta capa, lo que facilita el uso potencial de esta mezcla como estrategia de modificación de la respuesta.

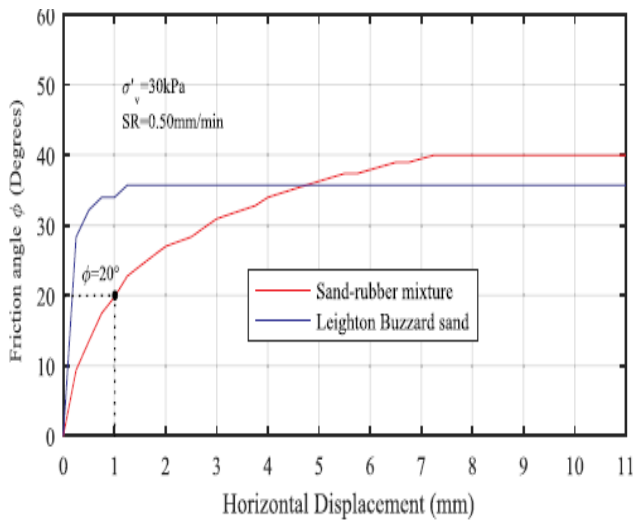


Figure 8. Curva del ángulo de fricción - desplazamiento horizontal, de una mezcla de arena y caucho con una relación = 2 y con $D_{50,s} = 0.8$ mm sometido a tensión vertical $\sigma' v = 30$ kPa (Tsiavos et al., 2019)

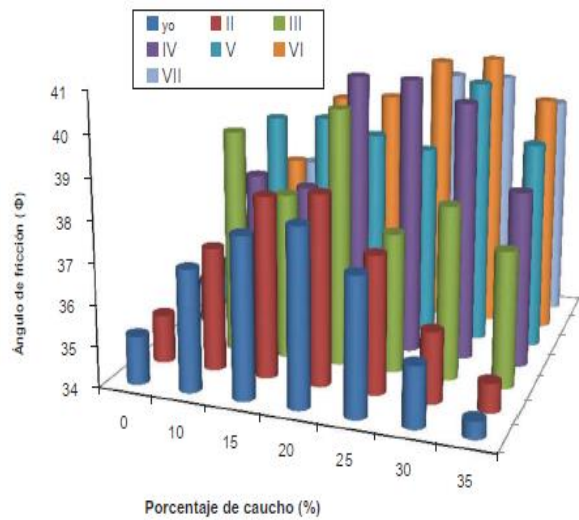


Figure 9. Grafico del ángulo de fricción vs el porcentaje de caucho. (Anbazhagan et al., 2017)

Las características de fricción de la mezcla de arena-caucho presentada para valores bajos de desplazamiento horizontal se confirman para el caso de las pruebas de cizallamiento directo cíclico que se muestran en la Figura 8. La normalización del esfuerzo cortante al esfuerzo vertical. $\tau / \sigma' v$ de la mezcla indica el ángulo de coeficiente de fricción $\tan \phi$ de la mezcla, para variar los valores de desplazamiento horizontal la velocidad de corte aplicada (SR) fue de 0,75 mm / min.

En la figura 9 se puede observar que a menores valores de porcentaje de caucho se obtienen valores menores del ángulo de fricción, esto pertenece al grupo I y II, quienes varían de 1 mm a 4.75 mm.

*Correspondencia del autor: Distrito de Tambo la Mar, Ayacucho.
E-mail: lourdeshuicho@upeu.edu.pe

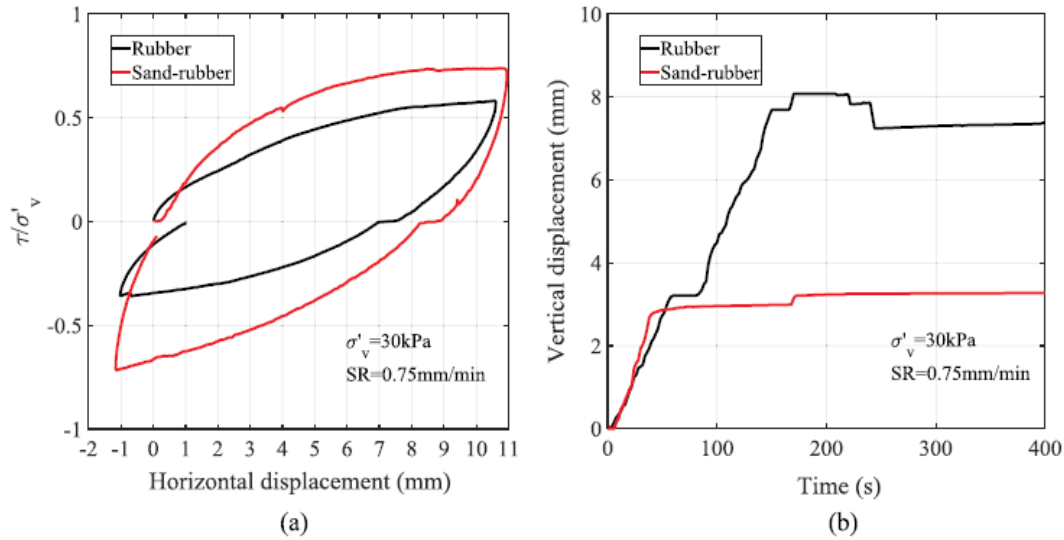


Figure 10. (a) Curva de fuerza cortante normal-desplazamiento horizontal y (b) Desplazamiento vertical- Tiempo de la mezcla de arena-caucho con $D_{50,r}/D_{50,s}=2$ y un caucho puro $D_{50,r}=1.6\text{mm}$.

En la Figura 10 (a) la respuesta cíclica de ambas muestras se investiga para dar cuenta la inversión de carga que ocurre durante un terremoto.

En particular, el ángulo del coeficiente de fricción obtenido de la muestra de caucho puro es significativamente menor que el obtenido del uso de una mezcla de arena-caucho. Sin embargo, el desplazamiento vertical del caucho puro es mucho mayor de la muestra de caucho mezcla de arena-caucho, como se puede observar en la Figura 10 (b). Este asentamiento vertical de la mezcla de caucho podría conducir a un asentamiento vertical significativo de la estructura fundada en esta capa, la cual no es favorable cuando ocurren movimientos fuertes.

Por lo que la elección de una capa de arena-caucho podría ser la más correcta en el uso como aisladores sísmicos, ya que mantiene en equilibrio los asentamientos verticales, (Mashiri, Vinod, Sheikh, & Tsang, 2015) realizaron también estudios acerca del comportamiento de tres mezclas diferentes, Zona 1: arena, Zona 2: caucho-arena y Zona 3: caucho, de las cuales llegaron a la conclusión de que la mezcla de la zona 2 mejora la resistencia al corte y reduce el ángulo de fricción.

(Rao & Dutta, 2006) menciona en su artículo que el comportamiento general en una gráfica de esfuerzo cortante – deformación de una mezcla arena-caucho es muy similar al de una arena pura por consecuente la existencia igual de los ángulos de fricción en ambos casos.

*Correspondencia del autor: Distrito de Tambo la Mar, Ayacucho.
E-mail: lourdeshuicho@upeu.edu.pe

2.2.4. Efecto de la velocidad de corte y la saturación en la prueba de corte directo de mezclas de arena y caucho

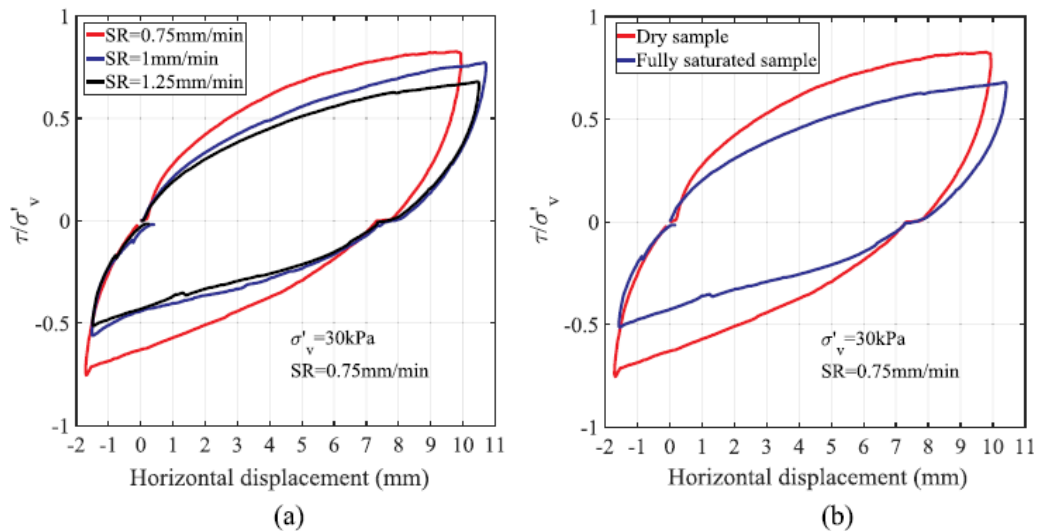


Figure 11. Curva cíclica de la velocidad de corte y (b) la saturación en la curva de esfuerzo horizontal entre el esfuerzo de corte normalizado debido a la prueba de corte directo de una mezcla de arena-caucho con una relación de tamaño de granos igual a 2.

En la Figura 11 se puede observar que la relación de esfuerzo de corte y la tensión vertical disminuyen según va aumentando las velocidades en orden de 0.75, 1.0, 1.25 mm/min, esto también significa que el coeficiente del ángulo de fricción disminuye con altas velocidades, lo que podría significar que la mezcla arena-caucho podría servir de mucho en movimientos a grandes velocidades.

Un factor que influye en la variación de su fricción de una mezcla de arena-caucho es su saturación, en la Figura 11 (b) se observa que la mezcla saturada tiene menor valor del coeficiente de fricción, esto indica que en condiciones que llueva u otro factor de humedad la capara estaría cumpliendo su función de aislador sísmico.

*Correspondencia del autor: Distrito de Tambo la Mar, Ayacucho.
E-mail: lourdeshuicho@upeu.edu.pe

2.2.5. Efectos de la relación del tamaño medio en la prueba de corte directo de una mezcla de Arena-caucho

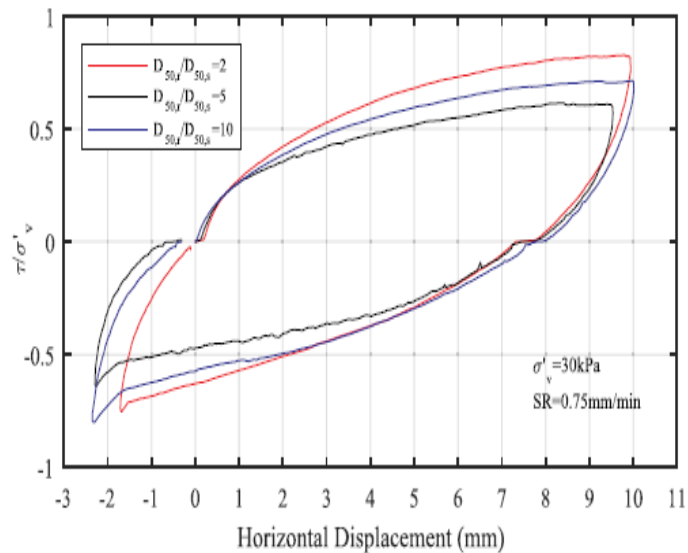


Figure 12. Efecto de la relación de tamaño medio en la curva cíclica de esfuerzo cortante-desplazamiento horizontal.

De acuerdo a las respuestas de la curva cíclica, la mezcla que tiene menor valor de relación de tamaño medio tiende a tener un mayor valor de coeficiente de fricción, y la de mayor relación de tamaño medio tiende a tener un valor menor de coeficiente de fricción.

También se puede observar que a menor relación de tamaños medio mayor es el desplazamiento horizontal.

2.3. Procedimiento experimental de pruebas dinámicas con la mesa vibratoria.

Para la investigación dinámica de una mezcla de arena-caucho se utilizó una configuración experimental de la mesa vibratoria uniaxial (Tsiavos et al., 2019).

Esta mesa sirve para cuantificar la fricción cinética de mezclas de arena-caucho diferentes y dos alturas de 2 cm y 5 cm.

La mezcla 1 y 2 de la **tabla 1** también se analizan con este procedimiento ya que tuvieron respuestas interesantes de sus fricciones, ya que a menor tamaño de caucho hay mejor acomodamiento con la arena y de acuerdo a (Anbazzhagan et al., 2017) aumenta la capacidad de carga de la arena hasta un 50%.

*Correspondencia del autor: Distrito de Tambo la Mar, Ayacucho.
E-mail: lourdeshuicho@upeu.edu.pe

Para esta investigación se utilizó una caja de concreto con dimensiones de 100mm x100mm x 80 mm de altura.

La estructura del prototipo en este estudio es un aula de mampostería de 4 m x 6 m, con una losa de cimentación de 0.20 m y un techo de acero ligero.

Se propone que la cimentación en este prototipo será la capa de arena-caucho, el peso de la estructura ya mencionada corresponde a una tensión de 10 kPa.

Entonces se tiene la relación de tensiones entre el experimento y el prototipo $\frac{10 \text{ kPa}}{3.9 \text{ kPa}} = 2.56$, también se tiene la relación de masa $\frac{25 \text{ Ton}}{5.85 \text{ Kg}} = 4273$ y la relación de longitud es de 4.

Asimismo, se realizó un análisis dimensional para luego establecer los parámetros adimensionales que gobiernan las respuestas de una estructura fundada en una capa arena-caucho, manteniendo la similitud entre la estructura real y el prototipo, entonces se tienen:

Table 4. Razones adimensionales y factores de escala utilizados en el análisis dimensional.

Dimensionless ratios to be maintained between the model and the prototype	Scaling factors between the model and the prototype
Acceleration ratio μ_g/α_g	$\alpha_{g, \text{ model}}/\alpha_{g, \text{ prototype}} = 1$
Vibration period ratio T_g/T_g	$T_{g, \text{ model}}/T_{g, \text{ prototype}} = 0.85$

La amplitud a_g no debe cambiar entre el modelo real y el prototipo.

Los desplazamientos de la mesa vibratoria se controló con un aparato conocido como PID, y el desplazamiento aplicado se midió usando un LVDT, la aceleración de la mesa se controló usando un acelerómetro.

El comportamiento del deslizamiento fue controlado por 3 acelerómetros, uno mide la aceleración horizontal en la dirección del movimiento de la mesa, los otros dos miden los componentes de aceleración vertical.

2.4. Resultados experimentales de las pruebas dinámicas de la mesa de sacudidas

*Correspondencia del autor: Distrito de Tambo la Mar, Ayacucho.
E-mail: lourdeshuicho@upeu.edu.pe

La Figura 13 muestra una variación de frecuencia de 2-10 HZ, con un paso de cambio de 1 HZ/s y en la vertical se observa las aceleraciones.

La entrada de aceleración del movimiento del suelo armónica es dada por la siguiente ecuación.

$$a_g(t) = A(t)\sin(2\pi f(t)t)$$

De donde A(t): es la amplitud que es una función de escalera al igual que la frecuencia.

Y su función es de la siguiente manera:

$$A(t) = 0.1g \sum_{j=1}^{10} H(t - j), \quad f(t) = 2 + \sum_{j=1}^{10} H(t - j)$$

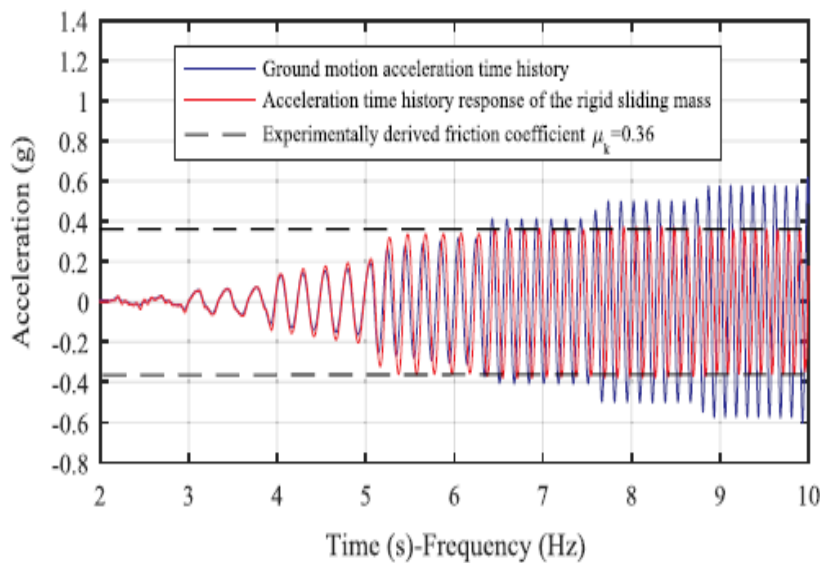


Figure 13. Respuesta de aceleración derivada experimentalmente de un bloque rígido de acero con una interfaz deslizante de madera basado en una capa de arena-caucho de $D_{50, r} / D_{50, s} = 2$ con una altura de 2cm sometidos a una excitación de movimiento del suelo de carga de rampa armónica.

*Correspondencia del autor: Distrito de Tambo la Mar, Ayacucho.
E-mail: lourdeshuicho@upeu.edu.pe

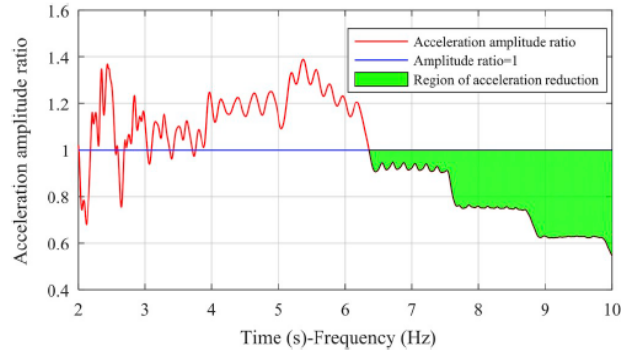


Figure 14. Respuesta experimental de la amplitud de respuesta de aceleración de un bloque rígido de acero con una interfaz deslizante de madera basado en una capa de arena-caucho de $D_{50,r} / D_{50,s} = 2$ con una altura de 2 cm sometidos a una excitación de movimiento del suelo de carga de rampa armónica.

Se muestran fases de acuerdo al movimiento del bloque rígido: la primera muestra que la aceleración del bloque es la misma con la de su base, en el rango de (2 HZ-4 HZ, se entiende que la capa de arena-caucho no amplifica el movimiento del suelo y no hay desplazamiento relativo entre el bloque y la capa, el segundo fase muestra que la aceleración del bloque es mayor que la aceleración de la capa esto ocurre en el rango de (4 HZ-6 HZ), en esta fase se observa que la capa de arena-caucho amplifica el movimiento del suelo de la base en un factor promedio de 1.3 (Tsiavos et al., 2019), la tercera fase muestra que la aceleración del bloque es constante y es mucho menor que la aceleración del movimiento del suelo, y es la respuesta deseada.

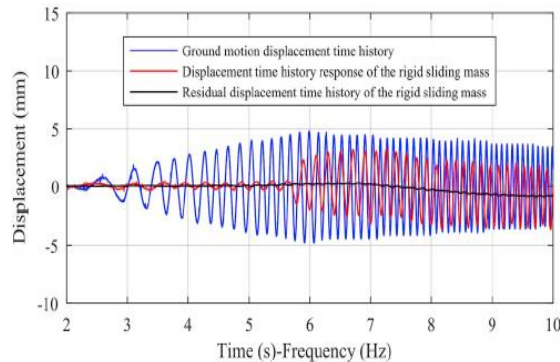


Figure 15. Respuesta de desplazamiento deslizante de un bloque rígido de acero con una interfaz deslizante de madera con base de capa de arena-caucho de $D_{50,r} / D_{50,s} = 2$ con una altura de 2 cm sometidos a una excitación de movimiento del suelo de carga de rampa armónica.

Nos conviene que el desplazamiento del suelo sea mayor al de la estructura, en este caso la de la capa de arena-caucho.

*Correspondencia del autor: Distrito de Tambo la Mar, Ayacucho.
E-mail: lourdeshuicho@upeu.edu.pe

2.4.1. Efecto de la relación de tamaño medio en la respuesta dinámica de deslizamiento

Ya se mencionó anteriormente que se tomaría las dos primeras mezclas con relaciones de tamaño de grano 2 y 5 respectivamente.

En la Figura 16 y 17 se muestran respuestas de desplazamientos de aceleración y desplazamiento deslizante relativo con respecto a la capa arena-caucho del bloque rígido fundada en las en las dos mezclas diferentes de arena-caucho sometida a la excitación del movimiento, el registro de aceleraciones usadas se obtuvo de la base de datos del movimiento de terreno PEER.

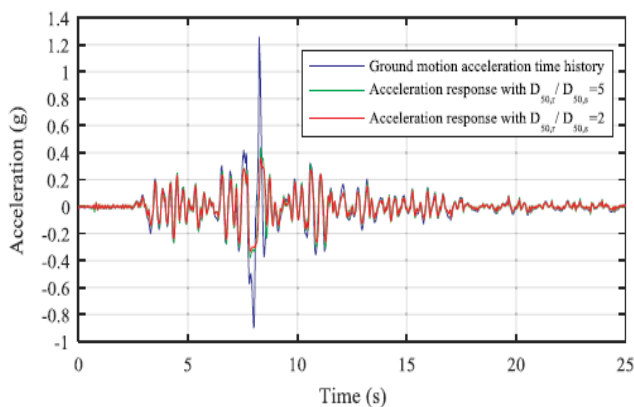


Figure 16. Respuesta de aceleración derivada experimentalmente de un bloque rígido de acero con una interfaz deslizante de madera basado en dos capas diferentes de arena-caucho de proporciones de grano $D_{50,r} / D_{50,s} = 5$ y $D_{50,r} / D_{50,s} = 2$ con una altura de 2 cm sometidos a la excitación del movimiento del suelo.

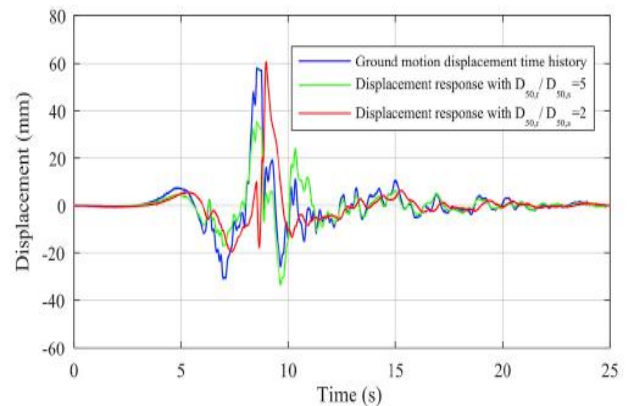


Figure 17. Respuesta de desplazamiento deslizante derivada experimentalmente de un bloque rígido de acero con una interfaz deslizante de madera sobre una base de dos capas diferentes de arena-caucho de proporciones de grano $D_{50,r} / D_{50,s} = 5$ y $D_{50,r} / D_{50,s} = 2$ con una altura de 2 cm sometidos a la excitación del movimiento del suelo.

La Figura 16 las aceleraciones máximas para cada mezcla son 0.36 g y 0.43 g respectivamente, validando los resultados del experimento para el movimiento del suelo de carga de rampa armónica.

La respuesta del desplazamiento deslizante máxima del bloque rígido contra las dos mezclas diferentes de 6 cm y 3.5 cm, respectivamente, este desplazamiento significa que la masa rígida se atribuye a la larga duración a la del suelo, como se puede observar en la Figura 16 y 17.

(Mylonakis & Voyagaki, 2007) investigaron el efecto y la forma de la duración de la excitación analítica del pulso sobre la respuesta de los bloques deslizantes concluyendo que la demanda de desplazamiento de estas estructuras aumenta significativamente para aumentar la duración del pulso.

*Correspondencia del autor: Distrito de Tambo la Mar, Ayacucho.
E-mail: lourdeshuicho@upeu.edu.pe

Asimismo (Tsiavos, Mackie, Vassiliou, & Stojadinović, 2017) y (Tsiavos & Stojadinović, 2019) observaron el alta demanda de desplazamiento es respuesta a estructuras rígidas convencionales y sísmicamente aisladas sometidas a una fuerte excitación por el movimiento del suelo, donde concluyen que los sistemas de aislamiento fuertes se activan solo bajo fuertes movimientos del suelo, lo que hace que la superestructura aislada se comporte como si estuviera efectivamente fijada sobre una base rígida pero elástica.

2.4.2. Efecto de la altura de la capa de arena y caucho sobre la respuesta dinámica de deslizamiento

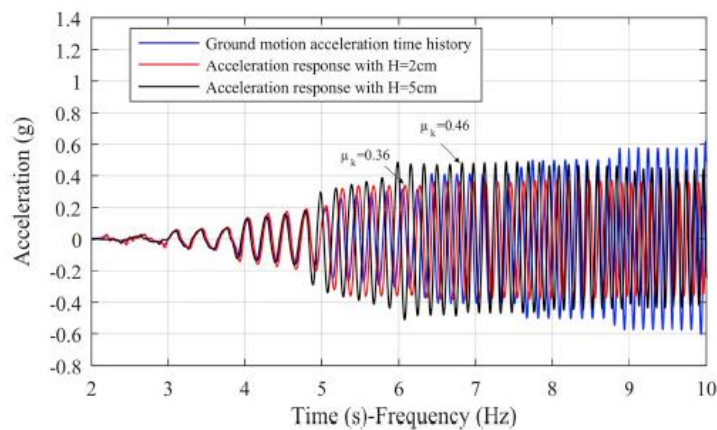


Figure 18. Respuesta de aceleración derivada experimentalmente de un bloque rígido de acero con una interfaz deslizante de con una base de capa de arena-caucho de $D_{50,r} / D_{50,s} = 2$ con dos alturas diferentes $H = 2$ cm y $H = 5$ cm sometidos a una rampa armónica que excita el movimiento del suelo.

Entre la frecuencia de 5-6 HZ, el desplazamiento fue mayor para la mezcla con altura de 5 cm, además el coeficiente de fricción después del deslizamiento fue 0.46 el cual es mucho más alto que el valor correspondiente de 0.36 que corresponde a la capa de 2 cm.

Se puede decir que el aumento del grosor de la capa aumenta la ampliación dado que la capa se vuelve significativa con cada una de sus características. A una frecuencia de excitación de 6 Hz, el factor de ampliación es 2.0.

*Correspondencia del autor: Distrito de Tambo la Mar, Ayacucho.
E-mail: lourdeshuicho@upeu.edu.pe

3. Conclusiones

El artículo tuvo como objetivo evaluar la influencia de una capa Arena-caucho en el aislamiento sísmico en viviendas comunes, de acuerdo a los diferentes autores se analizó con dos pruebas: el corte directo y el experimento con la mesa vibratoria, de las cuales se obtuvieron:

- Los resultados del corte directo tuvieron como objetivo cuantificar el tamaño de grano tanto de la arena y caucho, de acuerdo a (Tsiavos et al., 2019) los diámetros óptimos son: Caucho $D_{50, R}=1.6$ mm y arena $D_{50, S}=0.8$ mm con un coeficiente de uniformidad de 1.57 y 1.37 respectivamente, dado que estos valores hacen que se minimice el coeficiente de fricción, y lo mismo sucede en los experimentos con la mesa de agitación, (Mashiri et al., 2015) llega a la misma conclusión mencionando que tales resultados facilitan al deslizamiento de una estructura sometida a una fuerte excitación por el movimiento del suelo, también cabe mencionar que de acuerdo a las conclusiones obtenidas de ambos conjuntos de pruebas: Corte directo y la mesa vibratoria confirmaron la necesidad de un enfoque híbrido estático y dinámico para la evaluación del comportamiento deslizante de las estructuras con base de arena-caucho. Mientras que (Rao & Dutta, 2006) llega a la conclusión de que el comportamiento de una mezcla de arena y caucho es similar al de una arena, esto no está lejos de la hipótesis inicial, ya que de acuerdo a (NEHRP Consultants Joint Venture, 2012) la arena es una capa que también serviría como un aislador sísmico teniendo una interacción directa con la estructura.
- El grosor de la capa de arena-caucho influye en el comportamiento como aislador sísmico, obteniéndose que a mayor grosor se tienen respuestas más satisfactorias.
- También se concluye que para movimientos de intensidad moderada ($0.15 g < PGA < 0.4 g$), el corte se da dentro de la capa de caucho del suelo. Para intensidades más altas que exceden el coeficiente de fricción estática observado de 0.4 ($PGA > 0.4 g$), se espera un deslizamiento entre la capa de arena-caucho, reduciendo así la respuesta sísmica y el daño sísmico asociado de la estructura fundada en la capa de arena-caucho.

De acuerdo a estos resultados se concluye que una capa de arena-caucho si influye en el aislamiento sísmico, (Brunet, de la Llera, & Kausel, 2016) llega a la misma conclusión, recomendando el estudio en casos más reales para tener resultados más cercanos en caso de un terremoto.

Este tipo de innovación ayuda en el aislamiento sísmico en viviendas comunes, quienes por no aumentar el presupuesto de construcción no emplean las estrategias de aislamiento existentes.

*Correspondencia del autor: Distrito de Tambo la Mar, Ayacucho.
E-mail: lourdeshuicho@upeu.edu.pe

4. Referencias

- Anbazhagan, P., Manohar, D. R., & Rohit, D. (2017a). Influence of size of granulated rubber and tyre chips on the shear strength characteristics of sand–rubber mix. *Geomechanics and Geoengineering*, 12(4), 266–278. <https://doi.org/10.1080/17486025.2016.1222454>
- Anbazhagan, P., Manohar, D. R., & Rohit, D. (2017b). Influence of size of granulated rubber and tyre chips on the shear strength characteristics of sand–rubber mix. *Geomechanics and Geoengineering*, 12(4), 266–278. <https://doi.org/10.1080/17486025.2016.1222454>
- Anvari, S. M., Shooshpasha, I., & Kutanaei, S. S. (2017). Effect of granulated rubber on shear strength of fine-grained sand. *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering*, 9(5), 936–944. <https://doi.org/10.1016/j.jrmge.2017.03.008>
- Banović, I., Radnić, J., & Grgić, N. (2019). Geotechnical seismic isolation system based on sliding mechanism using stone pebble layer: Shake-table experiments. *Shock and Vibration*, 2019. <https://doi.org/10.1155/2019/9346232>
- Castaldo, P., & Ripani, M. (2016). Optimal design of friction pendulum system properties for isolated structures considering different soil conditions. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 90, 74–87. <https://doi.org/10.1016/j.soildyn.2016.08.025>
- comité técnico de la norma de diseño sismorresistente. (2018). *RM-355-2018-VIVIENDA.pdf* (p. 80). p. 80.
- Genatios, C., & Lafuente, M. (2016). *INTRODUCCIÓN AL USO DE AISLADORES Y DISIPADORES EN ESTRUCTURAS* (P. Maragno, Ed.). Retrieved from scioteca.caf.com
- Jewell, R. A. (1989). Direct shear tests on sand. *Geotechnique*, 39(2), 309–322. <https://doi.org/10.1680/geot.1989.39.2.309>
- Lee, J. S., Dodds, J., & Santamarina, J. C. (2007). Behavior of rigid-soft particle mixtures. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 19(2), 179–184. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0899-1561\(2007\)19:2\(179\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0899-1561(2007)19:2(179))
- Lings, M. L., & Dietz, M. S. (2004). *An improved direct shear apparatus for sand*. (4), 245–256.
- Lombardi, D., Bhattacharya, S., Hyodo, M., & Kaneko, T. (2014). Undrained behaviour of two silica sands and practical implications for modelling SSI in liquefiable soils. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 66, 293–304. <https://doi.org/10.1016/j.soildyn.2014.07.010>
- Lopera Perez, J. ., Kwork, C. ., & Senetakis, K. (2018). *Effect of rubber content on the unstable behaviour of sand–rubber mixtures under static loading: a micro-mechanical study*. 68, 561–574. <https://doi.org/10.1680/jgeot.16.p.149>
- Madhusudhan, B. R., Boominathan, A., & Banerjee, S. (2017). Static and Large-Strain Dynamic

*Correspondencia del autor: Distrito de Tambo la Mar, Ayacucho.
E-mail: lourdeshuicho@upeu.edu.pe

Properties of Sand–Rubber Tire Shred Mixtures. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 29(10), 04017165. [https://doi.org/10.1061/\(asce\)mt.1943-5533.0002016](https://doi.org/10.1061/(asce)mt.1943-5533.0002016)

Madrid, N. (1998). *ENSAJO CARACTERISTICAS DE LOS SISMOS Y SUS EFECTOS EN LAS CONSTRUCCIONES (Primera de dos partes)*.

Mashiri, M. S., Vinod, J. S., Sheikh, M. N., & Tsang, H. H. (2015). Shear strength and dilatancy behaviour of sand-tyre chip mixtures. *Soils and Foundations*, 55(3), 517–528. <https://doi.org/10.1016/j.sandf.2015.04.004>

Mylonakis, G., & Voyagaki, E. (2007). Yielding oscillator subjected to simple pulse waveforms: numerical analysis & closed-form solutions. *Pacific Conference on Earthquake Engineering*, (056), 26. <https://doi.org/10.1002/eqe>

NEHRP Consultants Joint Venture. (2012). Soil-Structure Interaction for Building Structures. In *Nist Gcr* (Vol. 12). <https://doi.org/12-917-21>

O'Rourke, T. D. (2010). *Geohazards and large , geographically distributed systems*. (7), 505–543. <https://doi.org/10.1680/geot.2010.60.7.505>

Rao, G. V., & Dutta, R. K. (2006). Compressibility and strength behaviour of sand-tyre chip mixtures. *Geotechnical and Geological Engineering*, 24(3), 711–724. <https://doi.org/10.1007/s10706-004-4006-x>

Takagi, J., & Wada, A. (2019). Recent earthquakes and the need for a new philosophy for earthquake-resistant design. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 119(October 2017), 499–507. <https://doi.org/10.1016/j.soildyn.2017.11.024>

Trifunac, M. D., & Todorovska, M. I. (1998). Nonlinear soil response as a natural passive isolation mechanism - The 1994 Northridge, California, earthquake. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 17(1), 41–51. [https://doi.org/10.1016/S0267-7261\(97\)00028-6](https://doi.org/10.1016/S0267-7261(97)00028-6)

Tsiavos, A., Alexander, N. A., Diambra, A., Ibraim, E., Vardanega, P. J., Gonzalez-Buelga, A., & Sextos, A. (2019). A sand-rubber deformable granular layer as a low-cost seismic isolation strategy in developing countries: Experimental investigation. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 125(March), 105731. <https://doi.org/10.1016/j.soildyn.2019.105731>

Tsiavos, A., Mackie, K. R., Vassiliou, M. F., & Stojadinović, B. (2017). Dynamics of inelastic base-isolated structures subjected to recorded ground motions. *Bulletin of Earthquake Engineering*, 15(4), 1807–1830. <https://doi.org/10.1007/s10518-016-0022-5>

Tsiavos, A., & Stojadinović, B. (2019). Constant yield displacement procedure for seismic evaluation of existing structures. *Bulletin of Earthquake Engineering*, 17(4), 2137–2164. <https://doi.org/10.1007/s10518-018-00532-w>

*Correspondencia del autor: Distrito de Tambo la Mar, Ayacucho.
E-mail: lourdeshuicho@upeu.edu.pe