

# Compressive and Flexural Strength of Compacted Adobe with the Addition of Used Engine Oil and Kitchen Waste Oil at 1%, 1.25%, and 1.50%, Cajamarca 2023

Luis Elias Herrera Teran, Ing.<sup>1</sup>, Kevynn Josue Quiroz Ordoñez, Ing.<sup>2</sup>, and Orlando Aguilar Aliaga, Ing.<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Universidad Privada del Norte (UPN), Cajamarca – Perú, n00024753@upn.pe

<sup>2</sup>Universidad Privada del Norte (UPN), Cajamarca – Perú, n00031034@upn.pe

<sup>3</sup>Universidad Privada del Norte (UPN), Cajamarca – Perú, orlando.aguilar@upn.edu.pe

*The present research project was carried out with the objective of determining the compressive and flexural strength of compacted adobe with the addition of used engine oil and kitchen waste oil at 1%, 1.25% and 1.5%. The study approach was quantitative, with a sample of 140 adobe blocks, 70 adobes for the compression test and 70 adobes for the flexural test. The results obtained for the compressive strength test showed that the addition of used engine oil increased by 10.47%, while the addition of kitchen waste oil increased by 18.35%. In relation to the results of the flexural strength test with the addition of used engine oil, it increased by 8.96%, while the addition of kitchen waste oil increased by 15.86%. In summary, the addition of used engine oil and kitchen waste oil enhanced the mechanical capacity of compacted adobes, thus exceeding the proposed hypothesis, reaching strengths greater than 7%.*

**Keywords:** *Adobe, Oil, Compression, Flexion, Compacted*

**Identificador de Objeto Digital:**(sólo para trabajos completos, insertados por LACCEI).  
**ISSN, ISBN:**(a insertar por LACCEI).

# Resistencia a la Compresión y Flexión del Adobe Compactado con la adición de Aceite usado de Motor y Aceite Residual de Cocina al 1%, 1.25%, y 1.50%, Cajamarca 2023

Luis Elias Herrera Teran, Ing.<sup>1</sup>, Kevynn Josue Quiroz Ordoñez, Ing.<sup>2</sup>, and Orlando Aguilar Aliaga, Ing.<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Universidad Privada del Norte (UPN), Cajamarca – Perú, n00024753@upn.pe

<sup>2</sup>Universidad Privada del Norte (UPN), Cajamarca – Perú, n00031034@upn.pe

<sup>3</sup>Universidad Privada del Norte (UPN), Cajamarca – Perú, orlando.aguilar@upn.edu.pe

*El presente proyecto de investigación se realizó con el objetivo de determinar la resistencia a la compresión y flexión del adobe compactado con la adición de aceite usado de motor y aceite residual de cocina al 1%, 1.25% y 1.5%. El enfoque de estudio fue cuantitativo, como muestra se tuvo a 140 bloques de adobes, 70 adobes para el ensayo a compresión y 70 adobes para el ensayo a flexión. Los resultados obtenidos en cuanto al ensayo de resistencia a la compresión, mostraron que la adición de aceite usado de motor, incrementó en un 10.47%, en cuanto a la adición de aceite residual de cocina, incrementó en un 18.35 %. En relación a los resultados del ensayo de resistencia a la flexión con adición de aceite usado de motor, incrementó en un 8.96%, en cuanto a, la adición de aceite residual de cocina, incrementó en un 15.86 %. En resumen, la adición de aceite usado de motor y aceite residual de cocina, potenció la capacidad mecánica de los adobes compactados, superando de esta manera la hipótesis planteada, alcanzando resistencias mayores al 7%.*

**Palabras Clave:** Adobe, Aceite, Compresión, Flexión, Compactado.

## I. INTRODUCCIÓN

El adobe compactado como material de construcción ha ganado popularidad en todo el mundo, debido a su sostenibilidad y bajo costo, refiere a la mezcla de tierra, agregados y estabilizantes para crear bloques sólidos que serán los muros estructurales para la edificación.

La técnica de construcción con bloques de tierra comprimida tiene sus raíces en prácticas ancestrales de construcción con tierra, pero ha evolucionado con el uso de maquinaria y técnicas modernas. Los bloques de tierra comprimida se fabrican mediante el uso de una prensa hidráulica que aplica una gran presión a la mezcla de tierra, compactándola en moldes para producir bloques uniformes y resistentes. Uno de los principales beneficios del bloque de tierra comprimida es su sostenibilidad. Al utilizar tierra del lugar, se reduce la extracción de materiales naturales y se minimiza la generación de residuos. Además, el proceso de fabricación requiere poca energía en comparación con otros materiales de construcción convencionales, lo que contribuye a la reducción de las emisiones de carbono [1].

Además de ser sostenible, el bloque de tierra comprimida ofrece otras ventajas. Es un material de construcción duradero, resistente al fuego y con buenas propiedades térmicas, lo que lo convierte en una opción adecuada para climas cálidos y fríos.

También es económico, lo que lo hace accesible para comunidades con recursos limitados. A medida que crece la conciencia sobre la sostenibilidad y la necesidad de soluciones de construcción más ecológicas, el bloque de tierra comprimida se ha convertido en una opción atractiva para arquitectos, constructores y comunidades en todo el mundo [2].

En el Perú es muy común ver pequeñas construcciones a base de adobe y se las suele encontrar en las cercanías a los polos urbanos, pero más aún en las zonas rurales, ya que, debido a la brusca orografía y el relieve de la zona, a los pobladores les dificulta acceder a los ejes principales de comunicación y de intercambio comercial, por lo tanto, es más factible utilizar los recursos locales disponibles como la tierra, puesto que esta es abundante y de bajo costo [3].

En el año 2017, se realizó el Censo Nacional, elaborado por el Instituto Nacional de Estadística e Informática, el cual mostró que, del total de viviendas en el país con ocupantes presentes de 7 698 900 viviendas, el 27.90% (2 148 494) de estas viviendas son de adobe o tapial, también nos muestra valores por zona urbana y rural, para la zona urbana de un total de 5 884 013 viviendas con ocupantes presentes el 15% (887 203) de viviendas son de adobe o tapial y en la zona rural de un total de 1 814 887 viviendas con ocupantes presentes el 69.5% (1 261 291) son de adobe o tapial. Para el departamento de Cajamarca los datos muestran que, de un total de 376 223 viviendas con ocupantes presentes, el 70.25% (264 310) viviendas de la región son de adobe o tapial [4].

En Colombia, Bloques de Tierra Comprimida (BTC) con aditivos bituminosos, indicaron el incremento de la resistencia a la compresión y resistencia a la penetración de agua, adicionados con emulsión asfáltica en frío en proporciones del 0%, 25%, 50%, 75% y 100%, respecto al peso del agua. Concluyeron que, los BTC adicionados con un 50 % de emulsión asfáltica presentan las mejores características de protección contra la humedad garantizando la resistencia a compresión necesaria para su uso en la construcción [5].

La importancia de que las edificaciones elaboradas a base de adobe, implica que constantemente se busque mejorar la resistencia de la misma, usando diferentes tipos de aditivos naturales o artificiales para lograr dicho objetivo, así como menciona [6], en su tesis “Resistencia a compresión, flexión y

absorción del adobe compactado con adición de goma de tuna”- Cajamarca, el mismo teniendo objetivo principal, determinar la resistencia a flexión, compresión y absorción del bloque de tierra compactado mediante adición de goma de tuna; en los resultados de dicha investigación se menciona que, los adobes compactados con adición de goma de tuna, a porcentajes de 5%, 10% y 15%, lograron acrecentar sus propiedades de resistencia a la flexión y compresión hasta en un 42% y 43% respectivamente, a comparación con la muestra de referencia (sin aditivo).

Para la investigación sobre el comportamiento físico mecánico en adobe con adición de aceite de linaza Apurímac - 2022, se analizó el efecto de aditivo que tiene el aceite en dosificaciones al 1.0%, 1.5%, 2.0% y 2.5% con respecto al peso del adobe, los resultados mostraron que, al esfuerzo a compresión y a flexión, tiene un incremento máximo del 16.20% y 18.60% respectivamente [7].

“Evaluación del Aceite Reciclado de Cocina para su Reutilización”, se define a los aceites reciclados de cocina como aquellos que son reutilizados en diversos procesos de cocción en restaurantes, industrias de alimentos, comedores colectivos, etc. Asimismo, en base a la reacción química del aceite residual de cocina, se mencionan las siguientes: Hidrolíticas: Cuando los triglicéridos entran en contacto con la humedad o el agua, se descomponen en diglicéridos y monoglicéridos, lo que resulta en la liberación de una o dos cadenas de ácidos grasos. Como resultado de esta hidrólisis, se generan ácidos grasos libres, los cuales aumentan la acidez del aceite. También se produce en menor medida la formación de metil cetonas y lactosas, los cuales pueden provocar olores desagradables. Termo oxidativas: El calentamiento del aceite durante la fritura provoca su descomposición debido a la exposición a altas temperaturas, lo cual conlleva a la aparición de compuestos que afectan su calidad organoléptica y nutricional. La velocidad de este proceso de oxidación no solo depende de la temperatura, sino también del tipo y calidad del aceite, la superficie expuesta al aire, y la presencia de elementos pro oxidantes (como hierro y cobre), antioxidantes (como alfa-tocoferol) y antiespumantes (como siliconas). Como resultado, se forman compuestos polares, polímeros y sustancias volátiles [8].

Con respecto a la reutilización del aceite de motor en la tesis “Diagnóstico de la contaminación ambiental causada por aceites usados provenientes del sector automotor y planteamiento de soluciones viables para el Gobierno Autónomo Descentralizado del Cantón Azogues”, menciona que el aceite usado se utiliza principalmente como combustible en calderas debido a su alto poder calorífico, comparable a combustibles de alto rendimiento como el Fuel Oil 6 y 5. Asimismo, otro de sus usos es como controlador de polvo en el contexto de tratamientos o construcciones de pavimentaciones, del mismo modo se recalca una posible desventaja si es que se usa demasiado aceite, puesto que esto produce emisiones hacia el ambiente y perjudica la salud de las personas quienes laboran

o viven cerca del lugar. Por otro lado, un uso común pero no tan recomendable que se le da al aceite usado de motor es la recopilación del mismo por parte de los establecimientos autorizados y otros no autorizados, para luego ser esparcidos en el ámbito agrícola, para su utilización en maquinaria como motosierras, postes, estacas de cultivo, y como desmoldado de concreto en construcción. En base a lo anterior, el beneficio más importante referente al reciclaje del aceite es que gracias a ello, se podrá de cierta manera disminuir el abuso económico que existe hoy en día, además de contribuir a la conservación de recursos naturales como el petróleo y sus derivados [9].

Finalmente, los resultados obtenidos en estos estudios tienen la relevancia de ser utilizados en la creación de modelos analíticos para investigar el comportamiento estructural de las viviendas construidas con mampostería de adobe.

La investigación plantea la siguiente pregunta, ¿cuál es la resistencia a la compresión y flexión del adobe compactado con la adición de aceite usado de motor y aceite residual de cocina al 1%, 1.25% y 1.50% en Cajamarca 2023?

Se planteó como objetivo central, “Determinar la resistencia a la compresión y flexión del adobe compactado con la adición de aceite usado de motor y aceite residual de cocina al 1%, 1.25% y 1.50%, Cajamarca 2023” y como objetivos específicos, determinar las propiedades físicas, mecánicas y el tipo de suelo usado para la elaboración de adobes, determinar la resistencia a compresión de los adobes compactados con adición de aceite usado de motor y aceite residual de cocina al 1%, 1.25% y 1.50%, determinar la resistencia a flexión de los adobes compactados con adición de aceite usado de motor y aceite residual de cocina al 1%, 1.25% y 1.50%, y comparar los resultados con respecto a la muestra patrón sin aditivos.

Así mismo, como hipótesis, “La resistencia a la compresión y flexión del adobe compactado con la adición de aceite usado de motor y aceite residual de cocina al 1%, 1.25% y 1.50% incrementa hasta el 7% respecto de la muestra patrón sin aditivos”.

## II. METODOLOGÍA

El enfoque es cuantitativo, se ha cuantificado la resistencia mecánica de los adobes compactados con aceite residual y aceite de motor usado.

El tipo de investigación básica, debido a la dosificación y efecto del aceite residual y aceite de motor usado en los adobes compactados.

El nivel correlacional, la dosificación de aceites y las características mecánicas alcanzadas, se han relacionado.

El diseño de investigación es experimental, se han manipulado las variables dependientes con la variable independiente, a fin de controlar el aumento o disminución de las mismas.

En la presente investigación, la población es igual a la muestra, teniendo en consideración la Norma E-080 2017, en relación a cantidades mínimas establecidas para el ensayo a compresión axial y ensayo a flexión, indica realizar 6 cubos para ambos casos, en consideración a lo establecido, en la presente se estableció realizar 10 cubos para cada porcentaje de adición, patrón, 1%, 1.25% y 1.50%. En total se realizaron 140 adobes compactados, 70 para compresión axial, y 70 para flexión, elaborados en la prensa CINVA-RAM.



Ilustración 1. Adobes compactados en proceso de secado

El material para la elaboración de los bloques de adobes se ha adquirido en la región de Cajamarca, distrito de Baños del Inca, en el centro poblado Hornuyoc. El material fue recolectado en sacos cerrados y cubiertos con plástico para evitar su pérdida y contaminación, finalmente transportado al laboratorio de la Universidad Privada del Norte, para la elaboración de los ensayos correspondiente.

El instrumento necesario para la elaboración de los adobes compactados con la adición de aceite residual de cocina y aceite de motor usado, fue la máquina de compactación CINVA - RAM.

El método de la investigación fue experimental, se hizo uso de las instalaciones de la Universidad Privada del Norte y de los formatos normados, para luego ser procesados en el software Excel.

Para el muestreo, la investigación se ha basado en la norma E.080, Se realizaron las pruebas de campo tales como "presencia de arcilla" y "resistencia seca", en la que se formaron cuatro bolitas de tierra con la menor cantidad de agua posible, utilizando la palma de la mano. Estas bolitas se dejaron secar durante 48 horas y luego se apretaron firmemente con el pulgar e índice de la mano para verificar si se rompían, agrietaban o quebraban. Si alguno de estos problemas ocurría, se repetía el ensayo con los mismos materiales. En el caso de la cantera Hornuyoc estas condiciones, se confirmó que era adecuado para la producción de adobes, según las pruebas de campo realizadas.

La cantera Hornuyoc, se ubica en las coordenadas geográficas UTM, Este: 776047.43, Norte: 921975.13, Elevación: 2993 m.s.n.m., en la Zona 17M. En el caserío

Hornuyoc, distrito de Baños del Inca, provincia de Cajamarca, departamento de Cajamarca.

Se recolectaron las muestras utilizando herramientas manuales y se pasaron a través de un tamiz de malla N° ¾ para asegurar que solo se obtuviera la cantidad necesaria para las pruebas. Estas muestras recolectadas se colocaron en sacos de plástico para prevenir cambios de humedad y evitar la contaminación. Finalmente, se llevaron estas muestras al laboratorio de la Universidad Privada del Norte Cajamarca, donde se llevaron a cabo las pruebas de laboratorio.

Antes de realizar la producción de adobes compactados se realizó el análisis del suelo a través de ensayos de laboratorio en la Universidad Privada del Norte, los cuales incluyeron: NTP 339.127: Contenido de Humedad, NTP 339.128: Análisis Granulométrico, NTP 339.129: Límites de Consistencia, NTP 339.134: Clasificación del Suelo, NTP 339.131: Peso Específico Relativo de los Sólidos, NTP 339.141: Proctor Modificado

Tabla 1

Dosificación de Materiales para Adobes compactados con aceite residual de cocina.

Aceite residual de cocina (%)	OCH (%)	Suelo (kg)	Agua (lt)	Aceite (lt)
1%	16.21	8,5	1.38	0.10
1,25%	14.96	8,5	1.27	0.12
1,50%	16.42	8,5	1.27	0.14

Tabla 2

Dosificación de Materiales para Adobes compactados con aceite usado de motor.

Aceite residual de cocina (%)	OCH (%)	Suelo (kg)	Agua (lt)	Aceite (lt)
1%	16.21	8,5	1.38	0.10
1,25%	14.96	8,5	1.27	0.12
1,50%	16.42	8,5	1.27	0.14

La investigación científica y el conocimiento generado por la ciencia, requieren que tanto el investigador como el maestro mantengan una conducta ética. Estos aspectos incluyen asegurar la validez científica del estudio, lo cual implica que los formatos utilizados se ajusten a los protocolos de la Universidad Privada del Norte que, a su vez, se basan en las normas técnicas peruanas.

Además, se ha garantizado una selección equitativa de la muestra, siguiendo la normatividad vigente, lo que significa que el número de repeticiones se ha determinado conforme a la cantidad de adobes que la norma requiere ensayar.

Asimismo, se ha procurado una proporción favorable de riesgo-beneficio en el desarrollo de la investigación, asegurando que esta no represente ningún riesgo ambiental o social.

Por último, se ha reconocido el valor social y científico del estudio, lo que implica que los resultados obtenidos tienen relevancia tanto para la comunidad científica como para la sociedad en general.

### III. RESULTADOS

Tabla 3  
Contenido de humedad

Descripción	Und	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3
Peso del material húmedo	gr	200	200	200
Peso del material seco	gr	165.09	164.08	164.75
Porcentaje de humedad	%	21.15	21.52	21.40
Promedio de humedad	%	21.36		

Nota: De acuerdo al ensayo de Contenido de Humedad, se determinó como resultado promedio un 21.36% de contenido de humedad.

Tabla 4  
Análisis granulométrico mediante tamizado por lavado

Tamiz	Abertura	Peso Retenido	%RP	%RA	% que pasa
Nº 4	4.76	0.00	0.00	0.00	100.00
Nº 10	2	9.37	1.87	1.87	98.13
Nº 20	0.84	13.49	2.70	4.57	95.43
Nº 30	0.59	16.31	3.26	7.83	92.17
Nº 40	0.42	39.26	7.85	15.69	84.31
Nº 60	0.25	85.25	17.05	32.74	67.26
Nº 100	0.15	72.49	14.50	47.23	52.77
Nº 200	0.074	51.76	10.35	57.59	42.41
Pérdida Lavado		212.07	42.41	100.00	0.00
Total		500.00	100.00		

Nota: Teniendo como referencia los siguientes datos recogidos de la norma E-080, lo expresa en los siguientes términos: Arcilla 10 – 20 %, limo 15- 25 % y arena de 55-70 %, basándose en dichos rangos el suelo de la cantera Hornuyoc, es apropiada para la elaboración de adobes, por presentar arenas arcillosas, mezclas de arena – arcillas

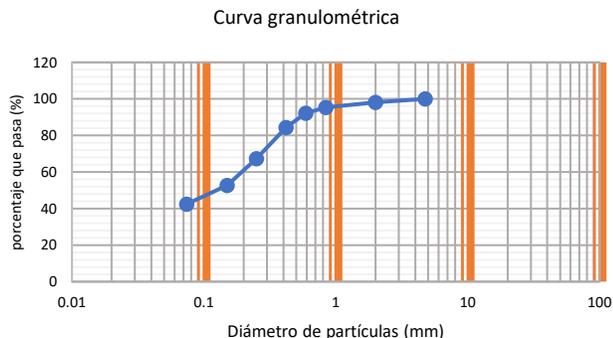


Ilustración 2. Curva de distribución granulométrica cantera Hornuyoc

Tabla 5  
Límites de Atterberg

Límite Líquido	Límite Plástico	Índice de Plasticidad
34.45%	21.05%	13.40%

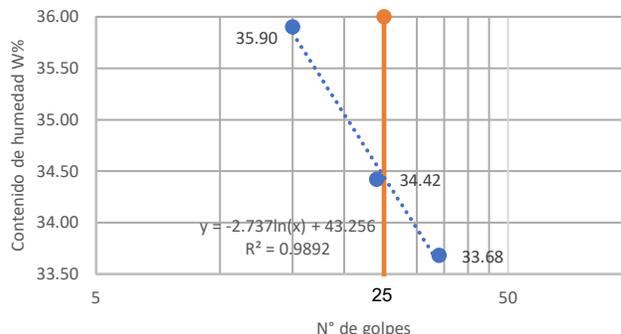


Ilustración 3. Curva de Fluidez del Suelo

Tabla 6  
Peso específico del material fino

Muestra	1	2
Peso del agua (gr)	669.40	654.70
Peso del suelo seco (gr)	413.65	504.49
Peso del suelo en el aire (gr)	727.40	712.00
Peso específico (gr/cm³)	2.38	2.34
Promedio	2.36	

Clasificación del suelo:

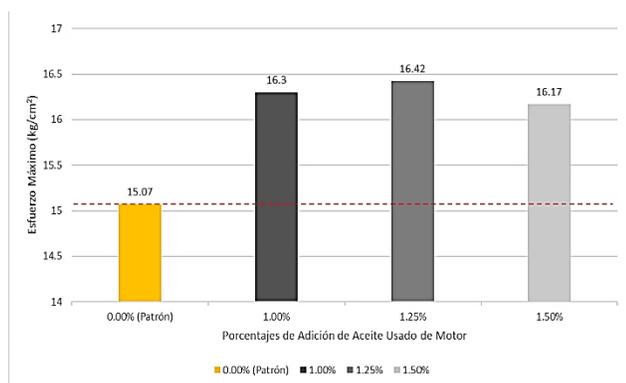
Con los resultados obtenidos anteriormente, la clasificación mediante SUCS, se establece que el suelo de Hornuyoc es una arena arcillosa de baja plasticidad S-CL.

Tabla 7  
Proctor Modificado

	Proctor Modificado	
	DMS (gr/cm³)	OCH (%)
Muestra patrón	1.725	18.98
Con 1% de aceite usado de motor	1.665	16.21
Con 1.25% de aceite usado de motor	1.725	14.96
Con 1.5% de aceite usado de motor	1.749	16.42
Con 1% de aceite residual de cocina	1.759	16.21
Con 1.25% de aceite residual de cocina	1.778	14.96
Con 1.50% de aceite residual de cocina	1.752	16.42

**Tabla 8**  
Resumen comparativo de la resistencia a flexión de adobe patrón y con adición de Aceite Usado de Motor

Porcentaje de Adición de Aceite Usado de Motor	Carga Máxima (Kg)	Deformación Máxima (mm)	Esfuerzo Máximo (Kg/cm <sup>2</sup> )	Porcentaje de Variación
0.00% (Patrón)	749.80	1.47	15.07	100%
1.00%	810.90	1.71	16.30	108.16%
1.25%	815.50	1.76	16.42	108.96%
1.50%	805.80	1.72	16.17	107.30%

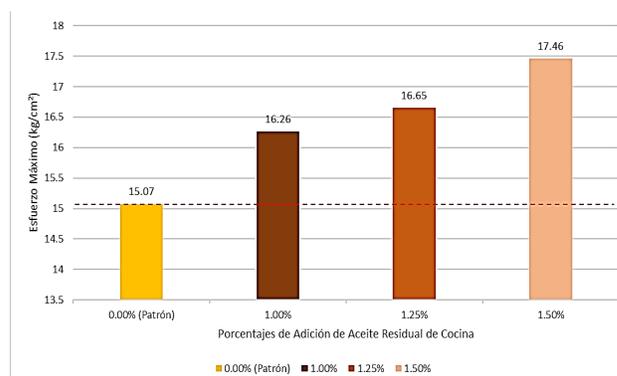


**Ilustración 4.** Resistencia a Flexión - Esfuerzo Máximo - Aceite Usado de Motor

Mediante el gráfico se puede apreciar la variación porcentual respecto a la muestra patrón de la resistencia a flexión del adobe con adición de aceite usado de motor, logrando aumentar en 8.16%, 8.96% y 7.30% respectivamente de la muestra patrón.

**Tabla 9**  
Resumen comparativo de la resistencia a flexión de adobe patrón y con adición de Aceite Residual de Cocina

Porcentaje de Adición de Aceite Residual de Cocina	Carga Máxima (Kg)	Deformación Máxima (mm)	Esfuerzo Máximo (Kg/cm <sup>2</sup> )	Porcentaje de Variación
0.00% (Patrón)	749.80	1.47	15.07	100%
1.00%	809.00	1.74	16.26	107.90%
1.25%	829.10	1.84	16.65	110.48%
1.50%	869.20	2.09	17.46	115.86%

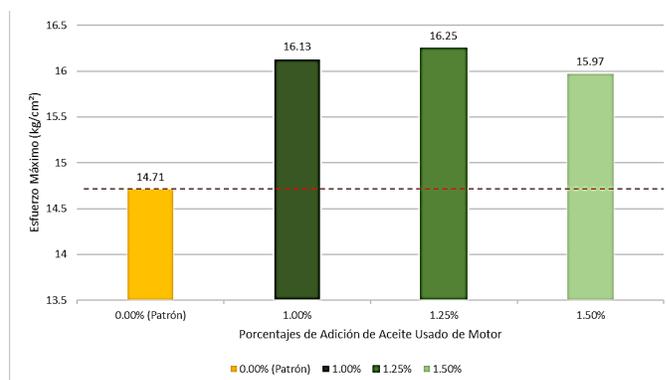


**Ilustración 5.** Resistencia a Flexión - Esfuerzo Máximo - Aceite Residual de Cocina

Mediante el gráfico se puede apreciar la variación porcentual respecto a la muestra patrón de la resistencia a flexión del adobe con adición de aceite residual de cocina en porcentajes de 1.00%, 1.25% y 1.50%, logrando aumentar en 7.90%, 10.48% y 15.86% respectivamente de la muestra patrón.

**Tabla 10**  
Resumen comparativo de la resistencia a Compresión de adobe patrón y con adición de Aceite Usado de Motor

Porcentaje de Adición de Aceite Usado de Motor	Carga Máxima (Kg)	Deformación Máxima (mm)	Esfuerzo Máximo (Kg/cm <sup>2</sup> )	Porcentaje de Variación
0.00% (Patrón)	3009.20	1.87	14.71	100%
1.00%	3293.20	2.97	16.13	109.65%
1.25%	3306.00	3.00	16.25	110.47%
1.50%	3244.40	3.88	15.97	108.57%



**Ilustración 6.** Resistencia a Compresión - Esfuerzo Máximo - Aceite Usado de Motor

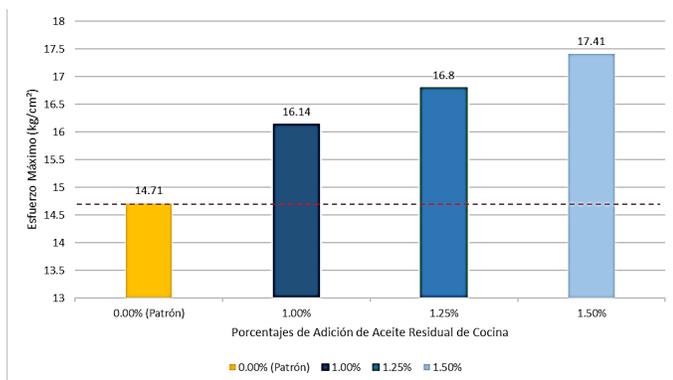


Ilustración 7. Resistencia a Compresión - Esfuerzo Máximo - Aceite Residual de Cocina

Tabla 11  
Resumen comparativo de la resistencia a Compresión de adobe patrón y con adición de Aceite Residual de Cocina

Porcentaje de Adición de Aceite Residual de Cocina	Carga Máxima (Kg)	Deformación Máxima (mm)	Esfuerzo Máximo (Kg/cm²)	Porcentaje de Variación
0.00% (Patrón)	3009.20	1.87	14.71	100%
1.00%	3269.80	4.06	16.14	109.72%
1.25%	3407.00	3.43	16.80	114.21%
1.50%	3542.90	3.41	17.41	118.35%

## Discusión

Las propiedades que presenta el suelo de la cantera Hornuyoc se verificó en los ensayos establecidos en la norma E0.80 [10], presentó características adecuadas para la elaboración de adobes, se comprobó en el estudio de mecánica de suelos en el laboratorio de la institución, así como se ha realizado en el estudio de [11], obteniendo valores y características similares.

En el desarrollo de los ensayos físicos, se estableció que el suelo de Hornuyoc presentó un valor mayor al 50% del suelo retenido en la malla N° 200, ello indica que está dentro del suelo de grano grueso, así mismo, el 100% de material ha pasado por la malla N° 4, indicó que se encuentra en el rango de arenas, además, presentó un Índice de Plasticidad mayor a 7, por lo tanto, según la clasificación SUCS, el suelo de Hornuyoc, se clasificó como S – CL, arena – arcillosa de baja plasticidad.

Se expresa en los siguientes términos: Arcilla 10 – 20 %, limo 15- 25 % y arena de 55-70 %, basándose en dichos rangos el suelo de la cantera Hornuyoc, es apropiada para la elaboración de adobes, por presentar arenas arcillosas, mezclas de arena – arcillas. [10].

Conforme a la norma [12], establece valores necesarios para adobes compactados, así como, la resistencia a compresión para clasificarse como BTC1, debe superar los 13.26 kg/cm<sup>2</sup>, sin embargo, la Norma E080 [10], indica que la resistencia última a compresión debe ser 10.20 kg/cm<sup>2</sup>, bajo estas circunstancias, la norma española mantiene un valor más conservador, a causa de, que la fabricación de adobes son unidades que sirven como reemplazo a unidades de albañilería, la presente, está en función a la muestra patrón.

La elaboración de las unidades de adobe sin aceite residual de cocina y sin aceite usado de motor, superan las resistencias mínimas que pide [12] y [10], por razón de, que la zona de Hornuyoc, es adobera, existen alrededor de la zona múltiples viviendas, sin embargo, es importante y necesario buscar una mejora, así como se ha estudiado en la presente investigación.

La fabricación de adobes con adición de aceite usado de motor al 1.00%, 1.25% y 1.50%, *aumentan la resistencia a compresión* en sus tres porcentajes, considerando como mayor al 1.25% con un incremento de 16.42 kg/cm<sup>2</sup> respecto a la muestra patrón (14.71 kg/cm<sup>2</sup>). Para la adición de aceite residual de cocina 1.00%, 1.25% y 1.50%, *aumentan la resistencia a compresión* en sus tres porcentajes, considerando como mayor al 1.50% con un incremento de 17.41 kg/cm<sup>2</sup> respecto a la muestra patrón (14.71 kg/cm<sup>2</sup>). El aumento de resistencia adicionando aceite usado de motor y aceite residual de cocina, simboliza un incremento del 10.50% y 18.38% respectivamente, resultados similares como muestra la investigación de [11], teniendo resultados de similares de la resistencia a compresión con la adición de aceite de linaza, se presentó un valor máximo de 21.78%.

El ensayo de resistencia a flexión de los adobes patrón, obtienen un valor de 15.07 kg/cm<sup>2</sup>, a diferencia de los adobes con la adición de aceite usado de motor al 1.25%, con una resistencia de 16.42 kg/cm<sup>2</sup>, *representando un incremento* del 8.96%, así mismo, con la adición de aceite residual de cocina al 1.50%, con una resistencia de 17.46 kg/cm<sup>2</sup>, representando un incremento del 15.86%.

Por otro lado, se realizó el Análisis de Varianza ANOVA, permitiéndonos un análisis estadístico completo de las diferencias entre las agrupaciones de esfuerzos máximos de los ensayos de resistencia a compresión y flexión de los adobes con adición de aceite usado de motor y aceite residual de cocina en porcentajes de 1.00%, 1.25% y 1.50% respectivamente, sobre los resultados de resistencia a compresión y flexión de la muestra patrón, comprobando la existencia de varianzas entre las agrupaciones anteriormente mencionadas. También se realizó la aplicación del método de Fisher para la comparación múltiple entre las medias de las agrupaciones antes descritas luego de haber encontrado un efecto significativo en el ANOVA, concluyéndose que las pruebas realizadas en los ensayos de compresión entre los porcentajes de aceite usado de motor al 1.50% y aceite residual de cocina al 1.25% y 1.50% son significativamente diferentes respecto de la muestra patrón,

y, en las pruebas realizadas para el ensayo de flexión, los porcentajes de aceite usado de motor al 1.00%, 1.25% y 1.50% y aceite residual de cocina al 1.00%, 1.25% y 1.50%, también son significativamente diferentes de la muestra patrón. Tomándose estos análisis y resultados como evidencia estadística que apoya la investigación.

Tabla 12: ANÁLISIS DE VARIANZA - RESULTADOS DEL ESFUERZO MÁXIMO (Kg/cm<sup>2</sup>) DE LOS ENSAYOS DE RESISTENCIA A COMPRESIÓN

GRUPOS	PORCENTAJES DE ADICIÓN DE ACEITE EN BASE A LA DOSIFICACIÓN PLANTEADA							
	MUESTRA PTARÓN	ACEITE USADO DE MOTOR				ACEITE RESIDUAL DE COCINA		
	0%	1%	1.25%	1.50%	1%	1.25%	1.50%	
1	15.4	16.41	16.48	15.99	16.62	19.68	15.97	
2	15.29	15.96	17.19	16.44	15.93	17.84	21.26	
3	13.46	12.92	17.19	14.08	16.48	15.26	18.87	
4	15.42	15.06	17.16	13.38	16.22	17.02	13.88	
5	15.71	15.96	17.60	17.18	14.33	14.05	20.47	
6	14.21	17.29	14.48	16.34	14.65	14.01	14.72	
7	14.04	14.22	14.28	17.55	16.46	16.03	14.70	
8	14.50	13.84	15.50	16.98	15.89	17.45	15.2	
9	14.25	17.68	16.83	14.15	16.90	18.07	19.65	
10	14.81	18.89	15.82	17.62	17.88	18.63	19.38	
Suma (xi)	147.09	161.29	162.53	159.71	161.36	168.04	174.1	
Media	14.709	16.129	16.253	15.971	16.136	16.804	17.41	
Suma total	1134.12							
n <sub>i</sub>	10	10	10	10	10	10	10	
N	70							
K	7	(número de grupos o muestras que se están tratando de comparar)						
SC <sub>Trat</sub>	41.16363429							
SC <sub>Total</sub>	221.2281943							
SC <sub>Error</sub>	180.06456							

Tabla 13: TABLA PARA ANÁLISIS DE VARIANZA ANOVA

FUENTE DE VARIACIÓN	SUMA DE CUADRADOS	GRADOS DE LIBERTAD	CUADRADO MEDIO	TEST F
Entre las Muestras	41.164	6.000	6.861	2.400
Dentro de las Muestras	180.065	63.000	2.858	
<b>Total</b>	<b>221.228</b>	<b>69.000</b>		
<b>(valor crítico) F<sub>α, k-1, N-k</sub></b>		<b>2.246</b>		
<b>p-valor</b>		<b>0.038</b>		

Tabla 14: Aplicación del método de Fisher

DIFERENCIA POBLACIONAL	DESCOMPOSICIÓN DE DIFERENCIAS			DIF. MESTRAL	DESCSIÓN
Y <sub>A</sub> - Y <sub>B</sub>	14.709	-	16.129	1.42	No Significativo
Y <sub>A</sub> - Y <sub>C</sub>	14.709	-	16.253	1.54	Significativa
Y <sub>A</sub> - Y <sub>D</sub>	14.709	-	15.971	1.26	No Significativo
Y <sub>A</sub> - Y <sub>E</sub>	14.709	-	16.136	1.43	No Significativo
Y <sub>A</sub> - Y <sub>F</sub>	14.709	-	16.804	2.10	Significativa
Y <sub>A</sub> - Y <sub>G</sub>	14.709	-	17.41	2.70	Significativa
Y <sub>B</sub> - Y <sub>C</sub>	16.129	-	16.253	0.12	No Significativo
Y <sub>B</sub> - Y <sub>D</sub>	16.129	-	15.971	0.16	No Significativo
Y <sub>B</sub> - Y <sub>E</sub>	16.129	-	16.136	0.01	No Significativo
Y <sub>B</sub> - Y <sub>F</sub>	16.129	-	16.804	0.67	No Significativo
Y <sub>B</sub> - Y <sub>G</sub>	16.129	-	17.41	1.28	No Significativo
Y <sub>C</sub> - Y <sub>D</sub>	16.253	-	15.971	0.28	No Significativo
Y <sub>C</sub> - Y <sub>E</sub>	16.253	-	16.136	0.12	No Significativo
Y <sub>C</sub> - Y <sub>F</sub>	16.253	-	16.804	0.55	No Significativo
Y <sub>C</sub> - Y <sub>G</sub>	16.253	-	17.41	0.16	No Significativo
Y <sub>D</sub> - Y <sub>E</sub>	15.971	-	16.136	0.16	No Significativo
Y <sub>D</sub> - Y <sub>F</sub>	15.971	-	16.804	0.83	No Significativo
Y <sub>D</sub> - Y <sub>G</sub>	15.971	-	17.41	1.44	No Significativo
Y <sub>E</sub> - Y <sub>F</sub>	16.136	-	16.804	0.67	No Significativo
Y <sub>E</sub> - Y <sub>G</sub>	16.136	-	17.41	1.27	No Significativo
Y <sub>F</sub> - Y <sub>G</sub>	16.804	-	17.41	0.61	No Significativo.

Tabla 15: Cálculo del estadístico “T” de student

	Valor “t”	Valor. Abs.
<b>T (0.025,63)</b>	-1.998	1.998
<b>MSE</b>	2.858	
<b>n</b>	10	
<b>DIFERENCIA MÍNIMA SIGNIFICATIVA (LSD)</b>		
<b>LSD</b>		1.510874337

Tabla 16: ANÁLISIS DE VARIANZA - RESULTADOS DEL ESFUERZO MÁXIMO (Kg/cm<sup>2</sup>) DE LOS ENSAYOS DE RESISTENCIA A FLEXIÓN

GRUPOS	PORCENTAJES DE ADICIÓN DE ACEITE EN BASE A LA DOSIFICACIÓN PLANTEADA							
	MUESTRA PTARÓN	ACEITE USADO DE MOTOR				ACEITE RESIDUAL DE COCINA		
	0%	1%	1.25%	1.50%	1%	1.25%	1.50%	
1	14.56	16.65	16.11	16.45	16.54	17.03	17.43	
2	15.19	16.34	16.48	16.16	16.29	16.63	17.69	
3	14.39	16.53	16.53	16.36	16.02	16.43	17.58	
4	15.7	16.26	16.48	16.15	15.84	17.09	17.11	
5	15.79	16.21	16.52	16.19	16.35	16.69	17.79	
6	15.17	16.32	16.55	16.47	16.39	16.34	17.32	

7	15.24	16.29	16.66	15.91	16.33	16.77	17.57
8	15.6	16.4	15.82	16.19	16.46	16.64	17.43
9	14.78	16.07	16.81	15.64	16.26	16.19	1.56
10	14.28	15.92	16.25	16.19	16.14	16.69	17.09
Suma (xi)	150.7	162.99	164.21	161.71	162.64	166.5	174.57
Media	15.07	16.299	16.421	16.171	16.264	16.65	17.457
Suma total	114.32						
n <sub>i</sub>	10	10	10	10	10	10	10
N	70						
K	7	(número de grupos o muestras que se están tratando de comparar)					
SC <sub>Trat</sub>	29.98938857						
SC <sub>Total</sub>	35.94870857						
SC <sub>Error</sub>	5.95932						

Tabla 17: TABLA PARA ANÁLISIS DE VARIANZA ANOVA

FUENTE DE VARIACIÓN	SUMA DE CUADRADOS	GRADOS DE LIBERTAD	CUADRADO MEDIO	TEST F
Entre las Muestras	29.989	6.000	4.998	52.840
Dentro de las Muestras	5.959	63.000	0.095	
<b>Total</b>	<b>35.949</b>	<b>69.000</b>		
<b>(valor crítico) F<sub>α</sub>, k-1, N-k</b>		<b>2.246</b>		
<b>p-valor</b>		<b>0.000</b>	<b>(9.9643514574289E-23)</b>	

Tabla 18: Aplicación del método de Fisher

DIFERENCIA POBLACIONAL	DESCOMPOSICIÓN DE DIFERENCIAS	DIF. MIESTRAL	DESCISIÓN
Y <sub>A</sub> - Y <sub>B</sub>	15.07 - 16.299	1.23	Significativa
Y <sub>A</sub> - Y <sub>C</sub>	15.07 - 16.421	1.35	Significativa
Y <sub>A</sub> - Y <sub>D</sub>	15.07 - 16.171	1.10	Significativa
Y <sub>A</sub> - Y <sub>E</sub>	15.07 - 16.264	1.19	Significativa
Y <sub>A</sub> - Y <sub>F</sub>	15.07 - 16.65	1.58	Significativa
Y <sub>A</sub> - Y <sub>G</sub>	15.07 - 17.457	2.39	Significativa
Y <sub>B</sub> - Y <sub>C</sub>	16.299 - 16.421	0.12	No Significativo
Y <sub>B</sub> - Y <sub>D</sub>	16.299 - 16.171	0.13	No Significativo
Y <sub>B</sub> - Y <sub>E</sub>	16.299 - 16.264	0.04	No Significativo
Y <sub>B</sub> - Y <sub>F</sub>	16.299 - 16.65	0.35	Significativa
Y <sub>B</sub> - Y <sub>G</sub>	16.299 - 17.457	1.16	Significativa
Y <sub>C</sub> - Y <sub>D</sub>	16.421 - 16.171	0.25	No Significativo
Y <sub>C</sub> - Y <sub>E</sub>	16.421 - 16.264	0.16	No Significativo
Y <sub>C</sub> - Y <sub>F</sub>	16.421 - 16.65	0.23	No Significativo
Y <sub>C</sub> - Y <sub>G</sub>	16.421 - 17.457	1.04	Significativo
Y <sub>D</sub> - Y <sub>E</sub>	16.171 - 16.264	0.09	No Significativo

Y <sub>D</sub> - Y <sub>F</sub>	16.171	-	16.65	0.48	Significativa
Y <sub>D</sub> - Y <sub>G</sub>	16.171	-	17.457	1.29	Significativa
Y <sub>E</sub> - Y <sub>F</sub>	16.264	-	16.65	0.39	Significativa
Y <sub>E</sub> - Y <sub>G</sub>	16.264	-	17.457	1.19	Significativa
Y <sub>F</sub> - Y <sub>G</sub>	16.65	-	17.457	0.81	Significativa.

Tabla 19: Cálculo del estadístico “T” de student

	Valor “t”	Valor. Abs.
<b>T (0.025,63)</b>	-1.998	1.998
<b>MSE</b>	0.095	
<b>n</b>	10	
<b>DIFERENCIA MÍNIMA SIGNIFICATIVA (LSD)</b>		
<b>LSD</b>	0.274860654	

#### IV. CONCLUSIONES

La clasificación del suelo de Hornuyoc fue S – CL, arena – arcillosa de baja plasticidad, con granulometría dentro del rango [10], material que pasa malla N° 200 es de 42.41%.

El aceite residual de cocina aumentó más la resistencia tanto a compresión como a flexión, a comparación, del aceite usado de motor.

La elaboración de adobes compactados con la adición de aceite usado de motor, incrementó la resistencia a la compresión, al 1.00% hasta 16.13 kg/cm<sup>2</sup>, al 1.25% hasta 16.25 kg/cm<sup>2</sup> y al 1.50% hasta 15.97 kg/cm<sup>2</sup>, para la adición de aceite residual de cocina, la resistencia a compresión incrementó al 1.00%, hasta 16.14 kg/cm<sup>2</sup>, al 1.25% hasta 16.80 kg/cm<sup>2</sup> y al 1.50% hasta 17.41 kg/cm<sup>2</sup> con relación a la muestra patrón de 14.71 kg/cm<sup>2</sup>.

La elaboración de adobes compactados con la adición de aceite usado de motor, incrementó la resistencia a la flexión, al 1.00% hasta 16.30 kg/cm<sup>2</sup>, al 1.25% hasta 16.42 kg/cm<sup>2</sup> y al 1.50% hasta 16.17 kg/cm<sup>2</sup>, para la adición de aceite residual de cocina, la resistencia a flexión incrementó al 1.00%, hasta 16.26 kg/cm<sup>2</sup>, al 1.25% hasta 16.65 kg/cm<sup>2</sup> y al 1.50% hasta 17.46 kg/cm<sup>2</sup> con relación a la muestra patrón de 15.07 kg/cm<sup>2</sup>.

Finalmente se comprobó la hipótesis, en donde se indicaba que la resistencia a la compresión y flexión del adobe compactado con la adición de aceite de motor y aceite residual de cocina al 1%, 1.25% y 1.50% incrementa hasta el 7%, con los resultados, se comprobó que aumentó la resistencia a compresión hasta 10.47% y 18.35% respectivamente, así mismo, se comprobó que aumentó la resistencia a flexión hasta 8.96% y 15.86% respectivamente, en tal sentido, el aceite mejora la resistencia a la compresión axial y flexión del adobe.

Como parte de limitaciones de la investigación, se tuvo la falta de protocolos para ensayos con aceite usado de motor y aceite residual de cocina, así como la búsqueda de una cantera

en la que no se haya hecho investigación previa a fin de expandir el ámbito de estudio y corroborar la elaboración de adobes en la zona de extracción, ya que al ser una zona adobera, es de uso común y justifica su mayor importancia. La adquisición de aceite usado de motor y aceite residual de cocina para las adiciones podría haber sido un desafío logístico.

Con respecto a las implicancias de la investigación, la utilización de aceites puede tener implicancias ambientales, especialmente si no se gestionan adecuadamente. Se debe considerar el posible impacto en la calidad del suelo y el agua si los aceites escapan del entorno. Las adiciones de aceite a materiales de construcción podrían estar sujetas a regulaciones y normativas. Es importante considerar cualquier requisito legal o estándar técnico aplicable.

Se recomienda ampliar el rango de porcentajes de aceite usado de motor y aceite residual de cocina que se añaden al adobe, desde 0.5% hasta 2.5% o incluso más, en incrementos de 0.25%. Esto permitiría obtener una imagen más completa de cómo afecta la cantidad de aceite a las propiedades mecánicas del adobe.

#### REFERENCIAS

- [1] Kato, M. Sustainable Construction Materials: Compressed Earth Blocks and Earth Masonry, 1 ed., IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2018.
- [2] Kennedy, D. En Compressed Earth Blocks: A Sustainable Building Material for Developing Countries 1 ed., International Journal of Environmental Studies, 2014.
- [3] Torres, R. Las fibras naturales como refuerzo sísmico en la edificación de viviendas de adobe en la costa del departamento de Ica, 2016.
- [4] INEI. Instituto Nacional de Estadística e Informática, 2017.
- [5] Cañola, H., Medina, C., & Gonzáles, G. Bloques de Tierra Comprimida (BTC) con aditivos bituminosos. Instituto Tecnológico Metropolitano, 21(43), 135-145, 2018.
- [6] Rodríguez, J. Resistencia a compresión, flexión y absorción del adobe compactado con adición de goma de tuna, 2016.
- [7] Montoya, B. Comportamiento físico mecánico en adobe con adición de aceite de linaza, Apurímac – 2022, 2022.
- [8] Preciado Nazareno, A. G. Evaluación del Aceite Reciclado de Cocina para su Reutilización 2017, 2017.
- [9] Barrera, L. A. Diagnóstico de la contaminación ambiental causada por aceites usados provenientes del sector automotor y planteamiento de soluciones viables para el gobierno autónomo descentralizado del Cantón Azogues, 2015.
- [10] MVCS. MINISTERIO DE VIVIENDA, CONSTRUCCIÓN Y SANEAMIENTO (2017). Obtenido de [https://cdn-web.construccion.org/normas/rne2012/rne2006/files/titulo3/02\\_E/E\\_080.pdf](https://cdn-web.construccion.org/normas/rne2012/rne2006/files/titulo3/02_E/E_080.pdf)
- [11] Lozano, W. Resistencia a la compresión y absorción del adobe compactado con la adición de aceite de linaza, Cajamarca 2018, 2018.

[12] Norma Española. Bloques de tierra comprimida para muros y tabiques Definiciones, especificaciones y métodos de ensayo. (2008)