UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

Escuela Profesional de Ingeniería Civil

Elaboración de bloques de tierra estabilizados con cemento para viviendas en zonas periféricas Huacullani, 2023

Tesis para obtener el Título Profesional de Ingeniero Civil

Autores:

Rumeld Machaca Llanos

Alcides Gervasio Mango Mamani

Asesor:

Msc. Ecler Mamani Chambi

Juliaca, noviembre de 2025

DECLARACIÓN JURADA DE ORIGINALIDAD DE TESIS

Yo, Ecler Mamani Chambi docente de la Facultad de Ingeniería y arquitectura, Escuela Profesional de Ingeniería Civil, de la Universidad Peruana Unión.

DECLARO:

Que la presente investigación titulada: **"ELABORACIÓN DE BLOQUES DE TIERRA ESTABILIZADOS CON CEMENTO PARA VIVIENDAS EN ZONAS PERIFÉRICAS HUACULLANI, 2023"** de los autores **Rumeld Machaca Llanos** y **Alcides Gervasio Mango Mamani**, tiene un índice de similitud de 10% verificable en el informe del programa Turnitin, y fue realizada en la Universidad Peruana Unión bajo mi dirección.

En tal sentido asumo la responsabilidad que corresponde ante cualquier falsedad u omisión de los documentos como de la información aportada, firmo la presente declaración en la ciudad de Juliaca a los 25 días del mes de noviembre del año 2025.

Msc. Ecler Mamani Chambi

Asesor

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

En Puno, Juliaca, Villa Chullunquiani, a 7 día(s) del mes de noviembre del año 2022, siendo las 12:00 horas, se reunieron los miembros del jurado en la Universidad Peruana Unión Campus Juliaca, bajo la dirección (de la) presidente(a): Mtro Leonel Chahuares Pascar, el (la) secretario(a): Mg. Herson Duberly Pari Cusi y los demás miembros: Mg. Alder Jhosue Quispe Panca y el (la) asesor(a) Msc. Ecler Mamani Chambi con el propósito de administrar el acto académico de sustentación de la tesis titulado: Elaboración de bloques de tierra estabilizados con cemento para viviendas en zonas periféricas Juliaculani, 2023 del(los) bachiller/es: a) Rumeld Machaca Llanos b) Alcides Gervasio Mango Mamani c) conducente a la obtención del título profesional de: Ingeniero Civil

(Denominación del Título Profesional)

El Presidente inició el acto académico de sustentación invitando al (a la) / a (los) (las) 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 al (a la) / a (los) (las) 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:

Bachiller (a): Rumeld Machaca Llanos

CALIFICACIÓN	ESCALAS			Mérito
	Vigesimal	Literal	Cualitativa	
Aprobado	15	B-	Bueno	Muy Bueno

Bachiller (b): Alcides Gervasio Mango Mamani

CALIFICACIÓN	ESCALAS			Mérito
	Vigesimal	Literal	Cualitativa	
Aprobado	15	B-	Bueno	Muy Bueno

Bachiller (c):

CALIFICACIÓN	ESCALAS			Mérito
	Vigesimal	Literal	Cualitativa	

(*) Ver parte posterior

Finalmente, el Presidente del jurado invitó al (a la) / a (los) (las) 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/a

Secretario/a

Asesor/a

Miembro

Miembro

Bachiller (a)

Bachiller (b)

Bachiller (c)

Indice

Resumen 5
I. INTRODUCCIÓN 5
II. MATERIALES Y MÉTODOS 6
2.1. Selección de la materia prima. 6
2.2. Dosificación de los materiales 6
2.3. Compactación Manual: 7
2.4. Criterios de evaluación de la muestra. 7
2.5. Cuantificación de la población. 8
2.6. . Muestra 8
III. ANALISIS Y DISCUSIONES 8
3.1. Prueba 1: Análisis Granulométrico De Suelos Por Tamizado 8
3.2. Prueba 2 Y 3: Contenido De Humedad Y Límite Liquido, Límite Plástico E Índice De Plasticidad. 8
3.3. Prueba 4: Proctor Modificado 8
3.4. Prueba 5: Ensayo De Resistencia A La Compresión 9
3.5. Prueba 6: Resistencia a la erosión húmeda 9
3.6. Prueba 7: Ensayo de caída de un BTC completo 9
3.7. Prueba 8: Ciclos de humedecimiento y secado 9
3.8. Prueba 9: Prueba de capilaridad (elevación por absorción de agua) 10
3.9. Prueba 10: Prueba de resistencia a la compresión diagonal de muretes de albañilería 10
3.10. Prueba 11: Prueba de resistencia a la compresión de muretes de tierra comprimida 11
IV. DISCUSIONES 11
4.1. Sobre la resistencia a la compresión. 11
4.2. Sobre su costo. 11
4.3. Sobre su durabilidad. 12
4.4. Sobre el desempeño del BTC 12
4.5. Sobre el análisis estadístico 13
4.6. Sobre análisis de la absorción capilar 13
4.7. Sobre la prueba de compresión diagonal 13
V. ANÁLISIS Y RESULTADOS: 14
5.1. Sobre el confort térmico. 14
VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 14
VII. AGRADECIMIENTOS 15
VIII. REFERENCIAS 15

Elaboración de bloques de tierra estabilizados con cemento para viviendas en zonas periféricas Huacullani, 2023[1]

Elaboration of cement-stabilized earth blocks for housing in peripheral areas of Huacullani, 2023

A. G. M. Mamani y R. M. Llanos

***Resumen*—El propósito de esta investigación es la fabricación de bloques de tierra estabilizados con cemento y comprimidos manualmente para la construcción de viviendas en la zona periférica del distrito de Huacullani, Puno. El suelo arcilloso de cantera local fue caracterizado mediante granulometría por tamizado y compactación por Proctor Modificado. El ensayo reveló que la adición de cemento modifica las propiedades de compactación. En tal sentido se propuso un prototipo de bloque alveolar (40×18×15 cm) con 30% de vacíos, optimizado para reducir peso y mejorar eficiencia térmica. Se evaluaron tres dosificaciones de cemento (7%, 9% y 11% en peso de suelo seco). Los resultados de ensayos de compresión axial demostraron que el bloque propuesto con 9% de cemento es el que mejores resultados obtiene, asimismo los resultados de un análisis de costos directos frente al adobe y al bloque de concreto tradicional (bloqueta) resulta más económico la construcción por metro cuadrado con el bloque de tierra comprimido propuesto. En tal sentido se concluye que el BTC con 9% de cemento constituye una alternativa técnica y económicamente viable para mampostería estructural en la región. Por otro lado, los resultados obtenidos en las diferentes pruebas justifican el desarrollo de normativa específica para bloques alveolares de tierra comprimida puesto que el diseño propuesto no encaja en su totalidad en las normas peruanas tradicionales.**

***Palabras clave*— Cemento. Compresión manual de bloques, Construcción en tierra, Durabilidad, Tierra comprimida.**

***Abstract*— The purpose of this research is to manufacture manually compressed, cement-stabilized earth blocks for housing construction in the outskirts of the Huacullani district, Puno. The local quarried clay soil was characterized by sieving granulometry and compaction using a Modified Proctor system. The test revealed that the addition of cement modifies the compaction properties. A prototype alveolar block (40 x 18 x 15 cm) with 30% voids was proposed, optimized to reduce weight and improve thermal efficiency. Three cement dosages (7%, 9%, and 11% by weight of dry soil) were evaluated. The results of axial compression tests showed that the proposed block with 9% cement obtained the best results. A direct cost analysis compared to adobe and traditional concrete blocks (blocks) showed that construction with the proposed compressed earth block is more economical per square meter. In this regard, it is concluded that the 9% cement-based concrete block (BDC) constitutes a technically and economically viable alternative for structural masonry in the region. Furthermore, the results obtained from the various tests justify the development of specific regulations for compressed earth hollow-core blocks, since the proposed design does not fully comply with traditional Peruvian standards.**

***Keywords*— Cement, Manual block compression, Earth construction, Durability, Compressed earth.**

I. INTRODUCCIÓN

El uso de adobe en la construcción de viviendas en la región de Puno es una práctica tradicional que responde a las características climáticas y a la disponibilidad de materiales locales. Este material, elaborado a partir de tierra, agua, y fibras naturales, es accesible y económico para las comunidades, y proporciona un buen aislamiento térmico, adecuado para enfrentar las bajas temperaturas de la región altoandina. Sin embargo, el adobe también presenta limitaciones en términos de resistencia estructural y durabilidad, especialmente frente a sismos, lo cual ha incentivado la búsqueda de alternativas mejoradas que mantengan su bajo impacto ambiental pero que optimicen su desempeño en condiciones adversas. El uso del suelo en construcción de viviendas a través de bloques de tierra comprimida es una de las alternativas accesibles y sobre todo ecológicas, ya que reducen las emisiones de gases contaminantes en el medio ambiente [21]

El adobe, como unidad de construcción de tierra representativa en Latinoamérica, enfrenta esfuerzos de estandarización a través de diversas normativas regionales. Sin embargo, en el caso específico de la normativa peruana (Norma E.080), persisten limitaciones para alcanzar niveles elevados de resistencia mecánica y durabilidad, especialmente ante las variadas condiciones de exposición ambiental. Estas deficiencias resaltan la necesidad de optimizar los criterios técnicos de fabricación y mejora del adobe para asegurar su viabilidad y desempeño en entornos con exigencias estructurales más rigurosas.

En la actualidad en la Región Puno, especialmente en la Zona Sur se sigue usando las viviendas construidas a base de adobe, esto debido a las múltiples ventajas del abobe como confort térmico, costos, materiales, etc, respecto a la albañilería convencional. El distrito de Huacullani, provincia de Chucuito, Departamento de Puno, según Censos Nacionales 2017: XII de Población, VII de Vivienda y III de Comunidades Indígenas, pregunta: Material de construcción predominante en las paredes, se puede apreciar que el adobe de los 3310 casos consultados, 2969 casos son de material adobe representando el

89.70% de viviendas del distrito, por lo que la alternativa a plantear en la presente investigación es la de un tipo de bloqueta de tierra.

Por ello, los Bloques de Tierra Comprimida (BTC) surgen como una alternativa mecánicamente mejorada al adobe tradicional. Estos bloques, fabricados con materiales ambientalmente sostenibles, son más resistentes y adecuados para la región de Puno, particularmente para la zona de estudio, ofreciendo mejoras en resistencia mecánica, aislamiento térmico y durabilidad. Además, pueden utilizarse apenas 8 días después de su fabricación, a diferencia de los 30 días que requiere el adobe, según lo detallado en documentos técnicos como el Manual de Construcción para edificaciones de adobe del [16]

Los BTC se producen al comprimir una mezcla de tierra, una pequeña cantidad de agua y, estabilizantes como el cemento, sin requerir cocción. Este proceso reduce el tiempo de producción, mejora la calidad del material y fomenta el uso de recursos locales. Gracias a sus cualidades estructurales, eficiencia energética y sostenibilidad ambiental, los BTC representan una alternativa de construcción más resiliente y en armonía con la naturaleza en la región Puno. No obstante, las distintas normativas internacionales sobre los Bloques de Tierra Comprimida (BTC) presentan enfoques diversos que aún no se han unificado para su aplicación a gran escala. Esto resalta la necesidad de realizar un análisis exhaustivo de los principales aspectos técnicos con el fin de estandarizar el producto y garantizar su rendimiento bajo diversas condiciones ambientales y de carga, tanto en su estado estabilizado como no estabilizado.

II. MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación se basó en gran parte en estudios de campo, basados en la disponibilidad de los materiales que se encuentran completamente al alcance de los pobladores de las zonas periféricas del distrito de Huacullani, para poder elaborar un material de construcción adecuado, económico y resistente, se propusieron una serie de ensayos tanto de campo y de laboratorio sobre los bloques de tierra comprimidos, ensayando muestras con adiciones específicas de cemento variando el porcentaje de acuerdo a estudios recientes donde se investigaron elementos parecidos a los bloques de tierra comprimidos como los planteados en esta investigación.

Lo anterior mencionado está plenamente amparado en investigaciones como las de (Santiago Pedro Cabrera, 2020) [3] en cuya investigación determinó que la adición de cemento en proporciones de 2.5%, 5%, 10%, 15%, 20%, a los bloques de tierra comprimido de 25x12.5x6.5cm con agujero vertical de 6cm de diámetro demostraron una mejora en la resistencia a la compresión desde 1.0 MPa hasta 7.426 MPa. Así como también en la investigación de (Saucedo, 2020) [25] en su investigación denominada “Diseño de bloque de tierra comprimida estabilizado con cemento, como material sostenible, para el uso en la construcción de viviendas rurales en la provincia de San Martín, Región San Martín” determino el uso de cemento en cantidades de 6%, 8%, 10% y 12%, llegando a mejores resultados los bloques con adición de 10% de cemento.

Para el proceso de fabricación de los bloques de tierra comprimido se realizaron en dos fases (Figura 2 y Figura 3), conforme se detalla:

2.1. Selección de la materia prima.

Se inicia con la identificación del suelo (Tierra) aplicando ensayos de laboratorio como; análisis granulométrico, esperando que el porcentaje de arena no supere el 50%, caso contrario no será apto para la elaboración de los bloques de tierra comprimido, En seguida si cumple con el primer parámetro mencionado se procede con los ensayos de límites de atterberg para identificar los limites líquidos y plásticos, en caso cumplan ambos parámetros el material se considera apto para la elaboración de los bloques (Figura 1) .

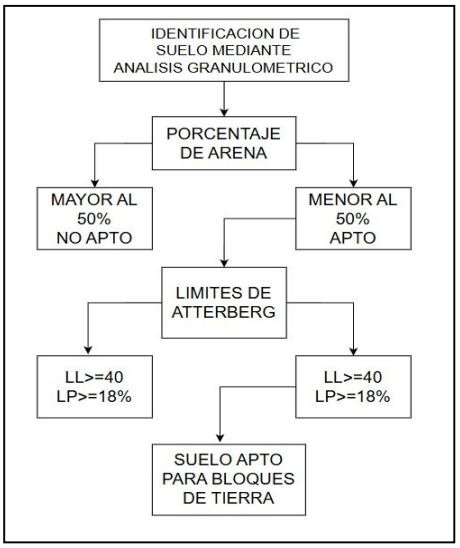


Fig. 1. Diagrama de selección de materia prima, Fuente: Elaboración autores

2.2. Dosificación de los materiales

En esta etapa se debe cumplir con dos requerimientos para la elaboración de los bloques son la cantidad de agua y cemento. La obtención de la cantidad de agua optima será mediante los ensayos de Proctor modificado y la cantidad adecuada de cemento será mediante ensayos experimentales y bibliografía (Figura 2).

Finalmente se elaborarán los especímenes variando la cantidad de cemento hasta obtener un bloque de tierra comprimido con mayor resistencia y menor peso

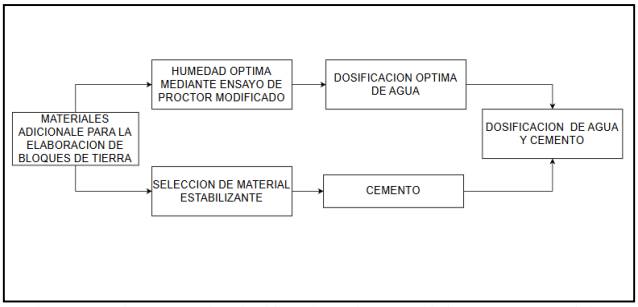


Fig. 2. Diagrama de dosificación de materiales, Fuente: Elaboración autores

2.3. Compactación Manual:

De acuerdo con lo estipulado en la NTP 399.611, se aplicó sobre cada capa 25 golpes uniformes con un pisón metálico de 4.54 kg (10 lb) de peso, dejándolo caer libremente desde una altura de 0.4 m. Esto resultó en una energía de compactación total aproximada de 136.2 kg-m (1937.22 psi) por bloque

Fig. 3. Proceso de fabricación de BTC, BTC con adiciones de 7%, 9% y 11%

2.4. Criterios de evaluación de la muestra.

Si bien la Norma E.080 recomienda un mínimo de 6 especímenes para control de calidad en obra. En nuestro caso, el uso de 5 especímenes por dosificación se basó en criterios estadísticos y prácticas de investigación experimental aceptadas internacionalmente para la caracterización inicial de materiales. Este tamaño de muestra fue suficiente para aplicar un análisis de varianza (ANOVA), el cual arrojó diferencias altamente significativas ($p < 0.001$) entre los grupos, con un nivel de confianza superior al 99.9%. La baja variabilidad interna de los datos, especialmente en la dosificación óptima del 9%, respalda la robustez de los resultados. Entendemos que, para una fase de producción y control de calidad posterior, se debe cumplir con el mínimo normativo peruano, y este estudio proporciona la base técnica para ello.

Los ensayos requeridos para contribuir en el proceso de estandarización de los BTC abarcan una revisión extensa de disposiciones planteadas por Normas y Estándares de Estados Unidos, España, Nueva Zelanda, México, Colombia, Argentina y Perú, conforme se detalla en la Tabla 1, destacando el propósito y su alcance. Proceso respaldado por investigaciones como el trabajo de (Cid, Mazarrón, & Cañas, 2011) [7] respaldando la necesidad de homogenización de los ensayos aplicados a las construcciones con tierra.

El trabajo exploró una cantidad representativa de ensayos de laboratorio, planteados en diversas referencias, algunas de las cuales poseen equivalencias en diversos países. El análisis buscó contar con una "receta" para producir BTC estabilizados y no estabilizados e identificar el nivel de resistencia frente a los diversos niveles de exposición y solicitaciones en general.

TABLA I
RESUMEN DE ENSAYOS REALIZADOS. FUENTE: ELABORACIÓN AUTORES

Ensayo	Referencias Normativas	Propósito y Alcance
Análisis granulométrico de suelos por tamizado	ASTM D 422 - USA NTP 400.012 - Perú UNE 103101:1995 - España	Ensayo que permite, a partir de la distribución de los granos de suelo, seleccionar el suelo apto para aplicaciones en BTC.
Contenido de humedad de un suelo	ASTM D 2216 - USA	Ensayo que permite establecer la proporción de agua requerida para una óptima compactación. El contenido de humedad de un suelo es la relación expresada como porcentaje, del peso de agua en una masa de suelo, al peso de las partículas sólidas.
Determinación del límite liquido (L.L), límite plástico (L.P.) e índice de plasticidad (I.P.)	NTP 339.129 - Perú	El L.L., L.P. e I.P. usados para correlacionarse con su comportamiento ingenieril como la compresibilidad, permeabilidad, compatibilidad, contracción-expansión y resistencia al corte.
Compactación de suelos en laboratorio utilizando energía modificada (Proctor modificado)	NTP 339.141 - Perú ASTM D 1557 - USA	Dato requerido para el diseño de los BTC. Determina la relación entre el contenido de agua y peso unitario de los suelos.
Ensayo de resistencia a la compresión y de resistencia a la compresión diagonal de muretes de albañilería	NTP 331.017:2017, NTP 399.621- Perú ASTM C67, ASTM C140 – USA -	Ensayo para medir la resistencia a la compresión de unidades y pilas con fines estructurales. El ensayo de compresión diagonal evalúa directamente la capacidad de corte de la mampostería, esencial para resistir cargas sísmicas y otras fuerzas de corte.
Ensayo de caída de un ladrillo completo	Red Argentina Protierra, 2020	Ensayo que permiten identificar, por medio de su resistencia al impacto, la calidad de los bloques y morteros de tierra empleados.

A. Población y muestra.

La población está conformada por unidades de bloquetas de tierra comprimida con adición de cemento en proporciones de 7%, 9%, y 11%, así como en su estado natural

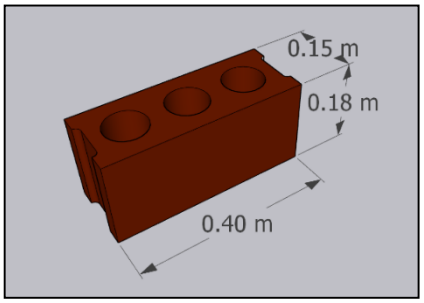


Fig. 4. Prototipo de BTC propuesto.

2.5. Cuantificación de la población.

La Norma Técnica Peruana E-080 sugiere un mínimo de 6 especímenes por ensayo para las pruebas a realizarse en unidades de construcción. Sin embargo, en esta investigación se emplearon 5 especímenes por ensayo, dado que las unidades a evaluar son bloquetas y estas no se encuentran estandarizadas. Por lo que al considerar que se han elaborado 4 tipos diferentes de bloquetas, la población total asciende a 20 especímenes.

2.6. . Muestra

La muestra está constituida por bloquetas tradicionales y bloquetas con adición de cemento en proporciones de 7%, 9%, y 11%, elaboradas por los investigadores. Estas serán sometidas a pruebas de laboratorio para evaluar sus propiedades físicas y mecánicas.

Cuantificación de la muestra

La muestra coincide con el tamaño total de la población, que comprende 20 especímenes de bloquetas tradicionales y con adición de cemento en proporciones de 7%, 9%, y 11%.

III. ANALISIS Y DISCUSIONES

Cada uno de los ensayos propuestos fueron realizados conforme detalla cada protocolo y los alcances de la Tabla 1, para los diferentes prototipos de BTC.

3.1. Prueba 1: Análisis Granulométrico De Suelos Por Tamizado

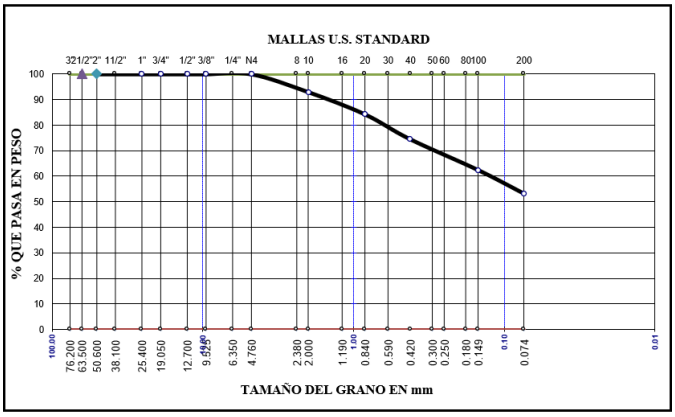


Fig. 5. Resultados de análisis granulométrico por tamizado. Fuente: Elaboración autores.

En la curva granulométrica (Figura 5) se verificó que la granulometría del material contempla las condiciones recomendadas por la Red Protierra para el uso en BTC y conforme huso granulométrico propuesto:

- Porcentaje de arenas > 50%

Descripción	Natural	7% Cemento	9% Cemento	11% Cemento
Máxima densidad seca	1.6	1.59	1.6	1.58
Óptimo contenido de humedad	22.48%	20.90%	20.89%	21.18%

- Porcentaje de finos > 30%
- 100% de material pasa malla Nro4

3.2. Prueba 2 Y 3: Contenido De Humedad Y Límite Liquido, Límite Plástico E Índice De Plasticidad.

El material seleccionado clasifica como Areno Arcilloso (SC) según SUCS (Tabla N°3).

TABLA 2. CONTENIDO DE HUMEDAD Y CLASIFICACIÓN DE SUELOS Y LÍMITES DE ATTERBERG. FUENTE: ELABORACIÓN AUTORES

Descripción	Cantidad	Recomendado
Contenido de humedad natural, ASTM D-2216	2.8%	
Límite líquido (%)	26.29	< 40% * ≤ 45% **
Límite plástico (%)	18.29	
Índice de plasticidad IP (%)	8.5	< 18% * ≤ 18% **
Clasificación SUCS	SC	

Los resultados de la humedad natural permitieron calcular el agua total requerida, de entre un 19% a un 20% necesaria para que los distintos tipos de BTC alcancen las densidades máximas presentadas en la Figura 5.

3.3. Prueba 4: Proctor Modificado

De acuerdo a los alcances del proyecto se definen cuatro (04) tipos de bloques de tierra comprimido; natural con ningún tipo de estabilizante, tierra + 7% de cemento, tierra + 9% de cemento y tierra + 11% de cemento los mismos que serán ensayados mediante el protocolo de Proctor Modificado (ASTM D-1557)

Los resultados obtenidos mediante el protocolo de Proctor modificado para la obtención de la humedad optima se aprecian en la figura 5, donde se aprecian las 4 curvas en la que se puede resaltar la curva formada por la muestra de tierra adicionada con 9% de cemento teniendo una humedad optima de 20.89% alcanzando en ese punto la máxima densidad.

Los resultados de humedad óptima, para cada tipo de espécimen se presentan en la Figura 5, con las mayores densidades en las muestras de material sin adiciones y con adición de cemento llegando a diferencias de hasta un 6% por encima del producto estabilizado con cal. En el mismo ensayo se identificó requerimientos totales de humedad de hasta un 19.8% para alcanzar la máxima densidad en el producto estabilizado con cemento.

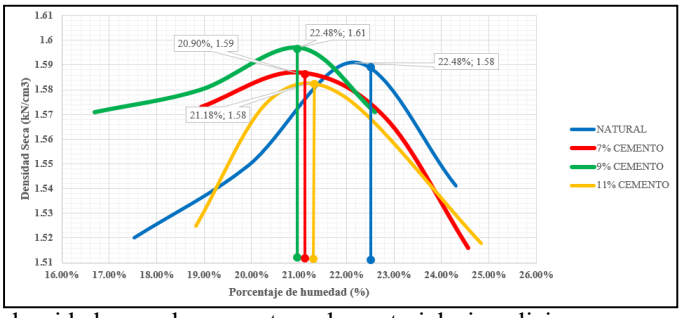


Fig. 6. Resultados de los ensayos Proctor modificado para cada espécimen. Fuente: Elaboración autores.

TABLA 3. DOSIFICACIÓN EN PESO POR TIPO DE BLOQUE DE TIERRA COMPRIMIDA. FUENTE: ELABORACIÓN AUTORES

Componentes	Tierra	Cemento	Agua	Densidad Promedio Kg/m3
Bloque de tierra Natural	1.00	-	0.225	1533.52
Bloque de tierra + 7% cemento	1.00	0.07	0.209	1579.32
Bloque de tierra + 9% cemento	1.00	0.09	0.208 9	1670.22
Bloque de tierra + 11% cemento	1.00	0.11	0.212	1637.24

3.4. Prueba 5: Ensayo De Resistencia A La Compresión

Se realizaron ensayos sobre cinco (05) probetas para cada tipo de BTC

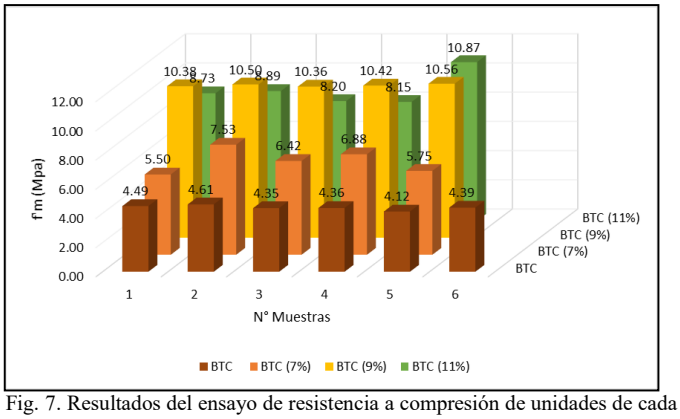


Fig. 7. Resultados del ensayo de resistencia a compresión de unidades de cada tipo de BTC. Fuente: Elaboración autores.

3.5. Prueba 6: Resistencia a la erosión húmeda

La resistencia a la erosión húmeda considera los métodos de Geelong y Swimborn cuyos resultados se correlacionan con un nivel de resistencia a la erosión (Tabla 4).

TABLA 4. NIVELES DE RESISTENCIA A LA EROSIÓN SEGÚN EL MÉTODO EMPLEADO. FUENTE: RECUADRO EXTRAÍDO DE RED ARGENTINA PROTIERRA, 2020

Profundidad de erosión - D(mm)			Nivel de resistencia a erosión húmeda	
Método Geelong	Método Swimborn	Pulverizado de agua a presión		
-	-	-	1	Apto para uso en exteriores sin protección
D < 5	D < 10	20 < D < 50	2	Apto para uso en exteriores
5 < D <10	10 < D < 20	50 < D < 90	3	Se recomienda proteger de lluvias directas
10 < D < 15	20 < D < 30	90 < D < 120	4	Revestir o proteger de lluvias directas
D < 15	D < 30	D < 120	5	No apto

TABLA 5. RESULTADOS DEL ENSAYO DE EROSIÓN HÚMEDA EN BTC. FUENTE: RECUADRO EXTRAÍDO DE RED ARGENTINA PROTIERRA, 2020

Descripción	Método	BTC	Prob. 1	Prob. 2	Prob. 3	Nivel
Prof. de erosión (D)mm	Geelong	Tierra	10	11	12	4
	Swimborn	Cemento (7%).	16	17	18	3
	Swimborn	Cemento (9%).	5	6	8	3
	Swimborn	Cemento (11%).	13	14	15	3

Los resultados obtenidos en la prueba de resistencia a erosión que muestran en la Tabla 5 demuestran que los bloques de tierra comprimido de tierra sin adiciones y los bloques de tierra comprimido con diferentes porcentajes de adición de cemento son mucho más resistentes a las lluvias y por ende pueden ser usados en las zonas periféricas de la localidad de Huacullani

Los resultados de la prueba 5 sobre un grupo de muestras se dan en la Tabla 5 estableciendo que: los BTC de tierra sin adiciones y los BTC adicionados con cemento son mucho más resistentes a lluvias u otros factores externos y pueden ser usadas para construcciones tanto en interior como exterior.

3.6. Prueba 7: Ensayo de caída de un BTC completo

Prueba donde la altura |de caída es de 90cm (Figura 8) el cual permite identificar la calidad de los bloques de tierra comprimido, ensayo recomendado antes de realizar los ensayos de resistencia a compresión o módulo de rotura por flexión, o como sustituto de estos últimos. Los bloques de tierra comprimida de solo tierra no cumplen con este ensayo sin embargo, los bloques de BTC con adiciones de 7%, 9% y 11% si cumplen en todos sus especímenes.

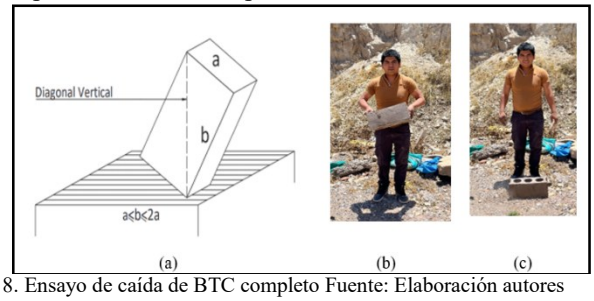


Fig. 8. Ensayo de caída de BTC completo Fuente: Elaboración autores

3.7. Prueba 8: Ciclos de humedecimiento y secado

Esta prueba se alcanza al apoyar los BTC sobre 3 monedas o arandelas en tres bolillos, de manera tal que su cara inferior quede separada 2 mm del fondo del recipiente. Se vierte agua dentro del recipiente hasta alcanzar una altura de 10mm. manteniendo la cara inferior del bloque sumergida el período de tiempo que corresponda según la Tabla 6.

TABLA 6. TIEMPO DE INMERSIÓN POR CICLO, SEGÚN EL NIVEL DE EXPOSICIÓN AL QUE SERÁ SOMETIDO EL ELEMENTO CONSTRUCTIVO. FUENTE: RECUADRO EXTRAÍDO DE RED ARGENTINA PROTIERRA, 2020

Nivel de exposición del elemento constructivo		Tiempo de inmersión
1	Elementos de muros exteriores a la vista con nivel de exposición severo	4 min
2	Elementos de muros exteriores a la vista	2 min
3	Elementos de muros exteriores protegidos	1 min
4	Elementos de muros interiores vistos	30 seg

Finalizado el tiempo de inmersión, se retira la muestra y se deja secan al aire por 24 horas. Se repite la operación de mojado y secado 5 veces más (en total, 6 ciclos de mojado y secado) buscando identificar visualmente degradación del BTC.

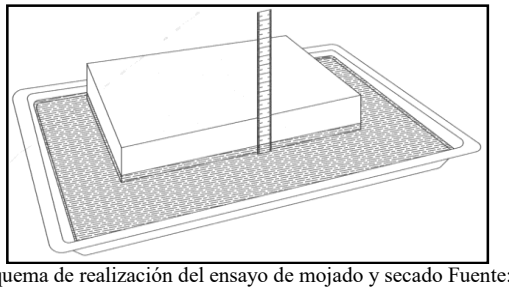


Fig. 9. Esquema de realización del ensayo de mojado y secado Fuente: Imagen extraída de Red Argentina Protierra, 2020

Los BTC sin estabilizante y BTC con cal, completan los ciclos de humedecimiento y secado en 6 veces con la prueba hasta 1 minuto, lo que nos lleva a que pueden ser utilizados en elementos de muros exteriores protegidos.

Los BTC con cemento cumplen la prueba en 6 series hasta los 2 minutos, con lo cual, este elemento puede ser utilizado para muro exterior a la vista

3.8. Prueba 9: Prueba de capilaridad (elevación por absorción de agua)

La prueba de capilaridad mide la capacidad de un bloque de tierra comprimido para absorber agua desde su base por acción capilar. Este ensayo es fundamental para evaluar la durabilidad del material en condiciones de humedad, ya que una alta absorción capilar puede debilitar la estructura del BTC y provocar fallas con el tiempo.

Procedimiento:

1) Se pesa el bloque obteniendo el peso inicial seco
2) Se coloca el bloque completamente seco sobre una bandeja con 5 mm de agua, asegurando que solo la base toque el agua.
3) Se deja en contacto por 1 hora, manteniendo el nivel de agua constante.
4) Se retira el bloque y se seca superficialmente con un paño.
5) Se pesa nuevamente para obtener el peso con la cantidad de agua absorbida.

Donde:

Mo=Peso del BTC en seco (g o kg).

M1=Peso después de la absorción capilar (g o kg)

TABLA 7. PRUEBA DE CAPILARIDAD (ELEVACIÓN POR ABSORCIÓN DE AGUA)

Elevación por absorción de agua		Peso Seco	Peso Húm.	% de Abs. Capilar	Tiempo de inmersión
1	Muestra 01	13.970	14.363	3.20	1 hora
2	Muestra 02	12.918	13.328	3.17	1 hora
3	Muestra 03	13.242	13.599	2.70	1 hora
4	Muestra 04	13.002	13.343	2.62	1 hora
5	Muestra 05	13.158	13.556	3.02	1 hora
6	Muestra 06	12.891	13.275	2.98	1 hora

$$\text{Absorción Capilar } \% = \frac{M_1 - M_0}{M_0} X100$$

Fig. 10. Ensayo de capilaridad de BTC. Fuente Elaboración Propia

3.9. Prueba 10: Prueba de resistencia a la compresión diagonal de muretes de albañilería

Este ensayo evalúa la resistencia al corte de la mampostería y la adherencia entre las unidades y el mortero. Para lo cual se deben tomar los siguientes aspectos: Dimensiones del murete, preparación del espécimen, y la aplicación de la carga.

$$V'm = 0.4 * \frac{p}{2 * L * em}$$

TABLA 8. PRUEBA DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DIAGONAL DE MURETES DE ALBAÑILERÍA FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

P (Kgf)		L(cm)	Em (cm)	f´t (kgf/cm2)	v´m (kgf/cm2)
1	380.35	60	15	0.211	0.085
2	472.21	60	15	0.262	0.105
3	520.05	60	15	0.289	0.116
4	482.85	60	15	0.268	0.107
5	502.24	60	15	0.279	0.112
6	395.25	60	15	0.220	0.088

Fig. 11. Prueba de resistencia a la compresión diagonal de muretes de albañilería

3.10. Prueba 11: Prueba de resistencia a la compresión de muretes de tierra comprimida

Este ensayo determina la resistencia a la compresión de muretes elaborados con bloques de tierra comprimida. Este análisis es fundamental para evaluar la viabilidad estructural de este material y su cumplimiento con los criterios de la Norma Técnica E.080

TABLA 9. PRUEBA DE RESISITENCIA A ALA COMPRESION DE LOS BTC FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

Muestra		Resistencia (MPa)
1	KF-01	0.654
2	KF-02	0.691
3	KF-03	0.700
4	KF-04	0.682
5	KF-05	0.774
6	KF-06	0.703
Promedio		**0.717 MPa**

Fig. 12. Prueba de resistencia a la compresión diagonal de muretes de albañilería

IV. DISCUSIONES

4.1. Sobre la resistencia a la compresión.

Los bloques comprimidos sin adición de cemento tuvieron una resistencia promedio de 4.37 kg/cm2, los bloques con adición de 7% de cemento soportaron una compresión de 6.42 kg/cm2 en promedio, por su parte los bloques con adición de 11% tuvieron una resistencia de 8.97 kg/cm2, finalmente los bloques de tierra comprimido con adición de 9% de cemento presentaron una resistencia a la compresión de 10.44 kg/cm2.

Estos resultados son muy similares a los de (Gaitan Paredes, 2022) [10] quien elaboró bloques de tierra comprimidos macizos con fines de albañilería con resultados de 17.31 kg/cm2, 17.35 kg/cm2 y 17.30kg/cm2, Concordantes también con los de (Infante Guevara, 2018) [13] quien elaboró bloques de tierra comprimidos macizos obteniendo valores de resistencia a la compresión de 12.16 kg/cm2, 12.24 kg/cm2, y 12.43 kg/cm2, además de las investigaciones mencionadas la norma E-080 establece una resistencia mínima de 10 kg/cm2. Para bloques macizos, al contrario de la presente investigación que presenta un bloque de tierra con un porcentaje de vacíos.

Es preciso destacar que el bloque objeto de estudio presenta una geometría alveolar innovadora, con un volumen de vacíos superior al 10%, lo que lo diferencia sustancialmente de los bloques macizos contemplados en la Norma E.080. Esta diferencia estructural modifica el mecanismo de falla; mientras la norma prevé una falla por tracción diagonal en la unidad, en nuestro caso la falla se produjo de manera coherente y sistemática en las juntas de mortero. Este comportamiento explica los valores de resistencia al cortante aparente obtenidos (0.085–0.116 kgf/cm²), los cuales son inferiores al mínimo de 0.25 kgf/cm² establecido para bloques macizos. Lejos de ser un indicador de incumplimiento, este resultado caracteriza el desempeño real del sistema constructivo propuesto y identifica la interfaz bloque-mortero como la zona crítica a reforzar en desarrollos futuros. Los hallazgos subrayan la necesidad de generar parámetros normativos específicos para sistemas de albañilería de tierra comprimida con alta presencia de vacíos, donde el modo de falla y, por ende, los criterios de diseño, son diferentes

4.2. Sobre su costo.

Del análisis comparativo de costos por m² se observa que el BTC estabilizado con 9 % de cemento (S/ 10.80 / m²) presenta una ventaja económica significativa frente al adobe tradicional (S/ 14.00 / m²) y la bloqueta de concreto (S/ 19.20 / m²).
Esta diferencia se debe principalmente a los siguientes factores técnicos y productivos:

1. Menor número de unidades por m²
   El BTC requiere solo 12 bloques / m², mientras que el adobe tradicional necesita 20 unidades. Esto reduce el tiempo de colocación, el consumo de mortero y la cantidad de mano de obra
   Se traduce en ahorros directos en mano de obra y menor desperdicio de material.
2. Optimización del volumen de material por bloque
   Los bloques BTC presentan orificios o aligeramientos, lo que disminuye el volumen de tierra y cemento empleado en su fabricación sin comprometer la resistencia.
   Este diseño permite un ahorro en materia prima por unidad y facilita el curado, reduciendo costos logísticos y de manipulación.
3. Uso de materia prima local y bajo consumo de cemento
   A diferencia de la bloqueta de concreto, el BTC utiliza principalmente tierra local estabilizada con un pequeño porcentaje de cemento, evitando el uso

intensivo de áridos y reduciendo costos de transporte. Se aprovechan recursos del entorno, lo cual es clave en zonas rurales como Huacullani.

4. Menor costo en acabados y mantenimiento
   Los BTC poseen superficies más uniformes y compactas, lo que reduce la necesidad de revoques gruesos y disminuye el mantenimiento frente a la erosión.
   A nivel de ciclo de vida, el costo de conservación del BTC es menor que el del adobe tradicional.
5. Competitividad frente a la bloqueta de concreto
   Aunque la bloqueta posee buena resistencia, su costo elevado se explica por el alto contenido de cemento (insumo caro) y la necesidad de equipos mecanizados. El BTC ofrece un desempeño mecánico adecuado con una reducción del 40–45 % del costo por m², siendo por tanto más viable económicamente para viviendas rurales.

TABLA 10. ANÁLISIS DE COSTOS DETALLADO

COSTO POR UNIDAD			
Concepto	BTC (9% Cemento)	Adobe Tradicional	Bloqueta de concreto
Costo Materia prima	S/ 0.50	S/ 0.20	S/ 0.80
Costo Mano de Obra (Fab.) por Und	S/ 0.40	S/ 0.40	S/ 0.60
costos adicionales	S/ 0.10	S/ 0.10	S/ 0.20
Costo Total	**S/ 1.00**	**S/ 0.70**	**S/ 1.60**
COSTO POR M2			
Concepto	BTC (9% Cemento)	Adobe Tradicional	Bloqueta de concreto
Unidades por m2	12	20	12
Costo Materia prima m2	S/ 6.00	S/ 4.00	S/ 9.60
Costo Mano de Obra (Fab.) por m²	S/ 4.80	S/ 8.00	S/ 7.20
costos adicionales	S/ 1.20	S/ 2.00	S/ 2.40
Costo Total	**S/ 12.00**	**S/ 14.00**	**S/ 19.20**

4.3. Sobre su durabilidad.

Los ensayos de resistencia a la erosión húmeda en muestras de BTC con cemento alcanzan una resistencia adecuada para su uso en exteriores a diferencia de las muestras de BTC sin estabilizante. Resultados concordantes con la investigación de (Papayianni & Pachta, 2017) [19] donde evidencia deterioro en viviendas con BTC sin estabilizantes producto de las condiciones de exposición.

Mediante el ensayo de ciclos de humedecimiento y secado en los BTC con adición de cemento permite su utilización en muros exteriores a la vista, en zonas sin exposición severa a lluvias. El cemento en la proporción empleada de 9% con respecto al peso total de la tierra resulta en un recurso accesible, concordante con la investigación de (Deboucha & Hashim, 2010) [9], donde concluyen que el uso de materiales naturales disponibles localmente hace que más personas tengan acceso a buenas viviendas empleando recursos sustentables.

4.4. Sobre el desempeño del BTC

Los resultados de este estudio posicionan al Bloque de Tierra Comprimida (BTC) estabilizado con cemento como una solución técnica y económicamente viable para la construcción de viviendas periféricas en Huacullani, Puno.

a) Comparación con el Adobe Tradicional

Resistencia Mecánica: El BTC con 9% de cemento alcanzó una resistencia a la compresión de 10.40 kg/cm² (1.02 MPa). Este valor es sustancialmente superior al del adobe tradicional, cuyas resistencias típicas oscilan entre 0.5 y 0.8 MPa (5-8 kg/cm²) e, incluso, es superior al mínimo de 0.8 MPa (8 kg/cm²) que exige la norma E.080 para adobes. Esto se traduce directamente en muros más resistentes y seguros, con una mayor capacidad portante para construir viviendas de hasta dos pisos.

Durabilidad y Estabilidad ante la Humedad: La principal desventaja del adobe es su alta vulnerabilidad al agua y la humedad. El BTC, al estar estabilizado con cemento y ser compactado, presenta una menor absorción de agua y una mayor resistencia a la erosión por lluvia y humedad ascendente, lo que incrementa significativamente la vida útil de las construcciones. Este es un avance crucial para la durabilidad de las viviendas en la región de puno en especial en la zona de Huacullani donde predomina el calor y las heladas en la mayor parte del año.

Sostenibilidad: Ambos materiales comparten la ventaja de utilizar tierra local como principal recurso, lo que reduce la energía embebida en transporte. El BTC, aunque incorpora cemento (un material con alta huella de carbono), lo hace en una proporción moderada (9%), manteniendo un perfil ambiental más favorable que el concreto convencional.

b) Comparación con el Concreto Convencional (Bloques de Concreto o Hormigón Vibrado)

Si bien el concreto es el estándar de la construcción en la región de Puno, la comparación con el BTC debe considerar el contexto de aplicación:

Resistencia Mecánica: Un bloque de concreto para mampostería estructural puede tener resistencias entre 12 MPa y 15 MPa (120-150 kg/cm²). En este aspecto, el concreto es muy superior. Sin embargo, la resistencia del BTC (1.02 MPa) es suficiente para cumplir con la norma E.080 para muros de tierra reforzada y para la construcción de viviendas de baja altura, como proponemos en la presente investigación.

Costo y Accesibilidad: Esta es la ventaja clave del BTC. El cemento representa el principal costo del material, y una dosificación del 9% es sustancialmente más económica que la fabricación de concreto, que requiere entre 250 y 300 kg de cemento por m³. El BTC prescinde por completo de los costos

asociados a la arena y la grava (agregados), que en muchas zonas alejadas como Huacullani son extremadamente costosos debido al transporte. Además, la fabricación del BTC es de baja tecnología y puede ser realizada por mano de obra local con mínima capacitación, fomentando la autoconstrucción asistida y la economía circular.

Propiedades Térmicas: El BTC, al ser un material de base térrea, hereda una de las grandes virtudes del adobe: su alta inercia térmica. Los muros de BTC se calientan y enfrían lentamente, actuando como reguladores naturales de la temperatura interior. Esto los hace muy superiores al concreto en confort térmico, especialmente en zonas como Puno, donde las variaciones de temperatura entre el día y la noche son muy marcadas.

4.5. Sobre el análisis estadístico

Hipótesis:

H_0 (Hipótesis Nula): No existe diferencia estadísticamente significativa entre las resistencias medias a la compresión de los bloques fabricados con 7%, 9% y 11% de cemento.

($\mu_7\% = \mu_9\% = \mu_{11}\%$)

H_1 (Hipótesis Alternativa): Al menos una de las resistencias medias es diferente de las demás.

a) Análisis de Varianza (ANOVA) de una vía:

El ANOVA reveló que el porcentaje de cemento tuvo un efecto estadísticamente significativo en la resistencia a la compresión de los bloques.

TABLA 11. ANÁLISIS ESTADÍSTICO ANOVA

Fuente de Variación		Suma de cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Valor F	Valor p
1	Entre Grupos	41.53	2	20.765	32.35	< 0.001
2	Dentro de los Grupos	7.70	12	0.642		
	Promedio	**0.717 MPa**	**14**			

El análisis de varianza (ANOVA) reveló que el porcentaje de cemento tuvo un efecto estadísticamente significativo en la resistencia a la compresión de los bloques de tierra comprimida ($F(2,12) = 32.35$, $p < .001$)

En tal sentido podemos afirmar, con un nivel de confianza mayor al 99.9%, que la dosificación de cemento influye directamente en la resistencia del BTC. Los resultados que observamos (que el 9% es mejor) no se deben al azar, sino al efecto real del cemento.

4.6. Sobre análisis de la absorción capilar

Los valores de absorción capilar obtenidos oscilan entre 2.62% y 3.20%, lo que indica que los bloques de tierra estabilizados con cemento al 9% tienen una absorción de agua moderada, La muestra 04 presenta la menor absorción (2.63%), lo que sugiere una mejor compactación y/o menor porosidad en comparación a las demás muestras analizadas, por otra parte, la muestra 01 tiene la mayor absorción (3.20%), lo que indica una mayor presencia de poros.

Si bien los valores de absorción obtenidos (2.62% - 3.20%) se encuentran dentro de rangos normativos aceptables, su verdadera relevancia emerge al analizarlos en el contexto climático de la región de Puno. Estos bajos valores, excepcionales para un material de tierra, indican que el BTC propuesto presenta una alta resistencia a la penetración de agua líquida. Esta propiedad es crucial para asegurar la durabilidad del material frente a las lluvias intensas y la alta humedad ambiental de la zona, ya que mitiga los principales mecanismos de deterioro: la erosión superficial y las fisuras por ciclos de humedecimiento y secado. Por lo tanto, el BTC no solo demuestra ser estructuralmente competente, sino también especialmente adecuado para las condiciones ambientales específicas de su lugar de uso previsto, representando una mejora sustancial frente a la vulnerabilidad del adobe tradicional

En la normativa de BTC, se recomienda que la absorción capilar sea menor al 10% para garantizar la durabilidad del material. Todos los valores obtenidos están dentro de este rango, lo que sugiere que los bloques tienen una buena resistencia a la absorción de humedad.

Todo ello tiene una alta relevancia en la durabilidad de los bloques de tierra estabilizados con cemento, un menor porcentaje de absorción capilar significa que el bloque es menos susceptible a la degradación por humedad. Esto es especialmente importante en regiones con alta humedad o lluvias estacionarias como la región de puno, ya que evita que el material se debilite con el tiempo.

4.7. Sobre la prueba de compresión diagonal

Carga máxima aplicada (P en kgf):

Los valores varían entre 395.25 kgf y 520.05 kgf, lo que indica que hay una dispersión moderada en la resistencia de los muretes. La muestra con menor resistencia es el número 6 (395.25 kgf) y la de mayor resistencia es la 3 (520.05 kgf). Esto puede deberse a diferencias en la calidad del mortero, la compactación o el alineamiento de las unidades de albañilería.

Dimensiones del murete:

Todas las muestras tienen una longitud L = 60 cm y un espesor de Em = 15 cm, lo que es adecuado para la prueba.

Esfuerzo de tracción diagonal (f't en kgf/cm²):

La resistencia a tracción diagonal varía entre -0.211 kgf/cm² y -0.289 kgf/cm². Estos valores reflejan la capacidad de la mampostería para resistir esfuerzos de tracción indirecta, que son clave para la resistencia al corte.

Esfuerzo cortante (v'm en kgf/cm²):

Los valores de resistencia al corte oscilan entre -0.085 kgf/cm² y -0.116 kgf/cm². La menor resistencia la tiene la muestra 6 (0.088 kgf/cm²) y la mayor la muestra 3 (0.116 kgf/cm²).

Criterios de aceptación según la Norma E.080:

La Norma E.080 establece que la resistencia al corte de la albañilería debe cumplir con ciertos valores mínimos para garantizar la estabilidad y seguridad de las estructuras. Aunque la norma específica puede variar según el país, generalmente se espera que la resistencia al corte (v'm) sea superior a 0.25 kg/cm².

V. ANÁLISIS Y RESULTADOS:

Los valores de resistencia al corte obtenidos en tus ensayos oscilan entre 0.085 kg/cm² y 0.116 kg/cm², los cuales son inferiores al valor mínimo recomendado de 0.25 kg/cm².

Podemos deducir de la prueba realizada que la resistencia de la mampostería no estuvo limitada por los bloques, sino por la calidad o adherencia del mortero. Esto es importante porque en estructuras de albañilería, la resistencia al corte no solo depende del material de los bloques, sino también de la capacidad de transmisión de esfuerzos entre los bloques a través de las juntas de mortero. Para mejorar ello se propone;

- Uso de un mortero con mayor resistencia a la compresión.
- Incrementar la proporción de cemento en la mezcla para mejorar adherencia.
- Asegurar una correcta humectación de los bloques antes de colocar el mortero.
- Evaluar el tipo de junta utilizada (juntas rugosas pueden mejorar la adherencia).

5.1. Sobre el confort térmico.

La continuidad en la aplicación de los BTC, en especial, en el sector rural altoandino resulta en un acierto, aplicación respaldada por los trabajos de (Costantini-Romero & Francisca, 2022) y (Molar, Velazquez-Lozano, & Vazquez-Jimanez, 2020) cuyos resultados presentan una disminución en los impactos ambientales y mejora el comportamiento térmico de las edificaciones inclusive en los casos con estabilizantes.

Este aspecto de confort térmico no fue caracterizado experimentalmente en el presente estudio debido a limitaciones de equipamiento especializado. No obstante, nuestra afirmación sobre su potencial de aislamiento se sustenta en dos principios técnicos bien establecidos: la alta inercia térmica inherente a los materiales de tierra comprimida, documentada en la literatura, que regula naturalmente la temperatura interior; y el diseño alveolar del bloque propuesto, el cual incorpora cámaras de aire que actúan como aislantes térmicos. Si bien estos fundamentos permiten predecir un buen desempeño, se recomienda enfáticamente que investigaciones futuras incluyan la caracterización experimental de la conductividad térmica y el monitoreo in situ de prototipos para validar cuantitativamente esta ventaja en el contexto específico de las heladas nocturnas y la alta radiación solar diurna de la región de Puno.

VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El estudio de unidades estándar de BTC sin estabilizantes y con estabilizante de cemento (al 7%, 9% y 11%), ha encontrado que:

- El rango apropiado del material para la elaboración de los BTC ha sido definido por medio de un uso granulométrico, con un 100% de material pasante la malla ASTM número 4, con contenido de arena entre 50% y 65%, y finos entre el 5% y 50%.
- La resistencia mecánica a la compresión de las muestras ha identificado que todos los especímenes con adiciones de cemento en las proporciones mencionadas y en especial los bloques de tierra con adición del 9% de cemento resultan aptos para aplicaciones en la construcción de viviendas, presentando una resistencia a la compresión de 10.44 kg/cm2, superando la exigencia mínima de la norma E-080 en el que define un mínimo de 10.0 kg/cm2 para bloques macizos.
- En cuanto a su durabilidad, definida por medio del ensayo de erosión húmeda ha identificado que los BTC estabilizados con 9% de cemento presentan un mayor desempeño no requiriendo revestimiento de muros excepto frente a lluvias directas y constantes.
- El presente estudio ha permitido catalogar el rango de aplicación de los BTC con estabilizantes, en especial BTC con adición de 9% de cemento como productos aptos para fines de construcciones de viviendas de bajo costo, definiendo su resistencia, su desempeño en condiciones simuladas de exposición y su durabilidad en múltiples ensayos gamma internacional, sugiriendo su estandarización y aplicación aceptable para proyectos en edificaciones rurales y periféricas de la región de puno.
- En cuanto a la prueba de absorción por capilaridad se puede deducir que los BTC analizados tienen una absorción de agua dentro de un rango aceptable y las recomendaciones de las normas E-080, E-060 Y E-070 además de las normas internacionales; NMX-C-404-ONNCCE-2005 (Bloques de Suelo-Cemento), Norma Colombiana NTC 5324 - Unidades de Suelo Cemento para Mampostería y los Estudios del CRATerre (Centro Internacional de la Construcción en Tierra, Francia) , lo que indica que son adecuados para su uso en construcción. No obstante, si se desea mejorar la resistencia a la humedad, se podría optimizar la mezcla, aumentando ligeramente la cantidad de cemento o añadiendo estabilizantes hidrofóbicos.
- Durante la realización del ensayo, se observó que la falla en los muretes se produjo exclusivamente en las juntas de mortero, sin que se presentaran fracturas significativas en los bloques de mampostería. Esto indica que la resistencia a corte de la estructura está limitada por la adherencia y resistencia del mortero, en lugar de la capacidad de los bloques.

- Según la Norma E.080, la resistencia al corte de la mampostería debe ser superior a 0.25 kgf/cm² para garantizar su estabilidad estructural. Los valores obtenidos en los ensayos oscilaron entre 0.085 kgf/cm² y 0.116 kgf/cm², lo que indica que los muretes evaluados no cumplen con los criterios normativos debido a la falla en los morteros.
- Para mejorar la resistencia al corte de la mampostería y evitar fallas prematuras en las juntas de mortero, se recomienda:
    - ✓ Aumentar la proporción de cemento en la mezcla de mortero para mejorar su resistencia.
    - ✓ Asegurar una correcta humectación de los bloques antes de la aplicación del mortero para mejorar la adherencia.
    - ✓ Controlar el espesor de las juntas, asegurando que sean uniformes y dentro de los valores recomendados por la norma.
    - ✓ Implementar un adecuado proceso de curado del mortero para garantizar el desarrollo de su resistencia.
    - ✓ Evaluar el uso de un mortero de mayor resistencia si los valores obtenidos en futuras pruebas siguen siendo bajos.
- El uso de los bloques de tierra comprimidos manualmente con estabilizante de cemento en proporción de 9% resulta más económica que el uso de abobes en la zona de estudio debido a su bajo costo en fabricación y construcción
- Todas las muestras analizadas para resistencia a la Compresión de Muretes de Tierra Comprimida presentan valores superiores a los 0.6 MPa exigidos por la norma. El promedio de las cuatro mejores muestras (*0.717 MPa*) confirma que el material no solo cumple con el estándar mínimo, sino que tiene una resistencia adicional que puede mejorar el desempeño estructural en edificaciones.

VII. AGRADECIMIENTOS

Con profundo agradecimiento y sincero respeto, deseamos expresar nuestro reconocimiento a todas las personas que hicieron posible la realización de esta tesis sobre Bloques de Tierra Comprimida. Nuestro primer y más sentido agradecimiento es para nuestros padres. A ellos, les debemos todo. Gracias por su apoyo incondicional, por sus sacrificios silenciosos, por su fe inquebrantable en nosotros y por ser el pilar fundamental que nos sostuvo en cada momento de dificultad. Este logro es tan suyo como nuestro. De igual manera, extendemos nuestra eterna gratitud a nuestros docentes y dictaminadores. Su guía académica, su paciencia infinita y su invaluable conocimiento fueron la brújula que orientó nuestro trabajo. Gracias por compartir su sabiduría, por desafiarnos a dar lo mejor de nosotros mismos y por inspirarnos con su pasión por el conocimiento. Cada consejo y corrección fue un regalo que enriqueció este proyecto.

Finalmente, agradecemos a nuestros compañeros y amigos, cuyo apoyo y compañerismo fueron un faro de motivación durante este recorrido.

A todos, mil gracias.

VIII. REFERENCIAS

[1] Ali, N., Yaacob, K. Y., Burhanudin, M. K., Shahidan, S., & Abdullah, S. R. (2016). INVESTIGATION OF COMPRESSED EARTH BRICK CONTAINING. ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences. Obtenido de https://www.arpnjournals.org/jeas/research_papers/rp_2016/jeas_0416_4135.pdf

[2] Aranda-Jiménez, Y. G., & Suárez-Domínguez, E. J. (2013). Efecto de la impermeabilidad del Mucílago de Nopal en bloques de tierra comprimidos. Revista Electrónica Nova Scientia. doi: http://dx.doi.org/10.21640/ns.v6i11.85

[3] Cabrera, S. P., Jiménez, Y. G., Domínguez, D. J., & Rotondaro, R. (2020). Bloques De Tierra Comprimida (Btc) Estabilizados Con Cal Y Cemento. Evaluación De Su Impacto Ambiental Y Su Resistencia A Compresión. Hábitat Sustentable.

[4] Calatan, G., Hegyi, A., Dico, C., & Mircea, C. (2016). Determining the Optimum Addition of Vegetable Materials in Adobe Bricks. Procedia Technology.

[5] Cañola, H. D., & Echavarría, C. (2017). Bloques de concreto con aditivos bituminosos para sobrecimiento. Ingeniería y Desarrollo.

[6] Cañola, H. D., Builes-Jaramillo, A., Medina, C. A., & González-Castañeda, G. E. (2018). Bloques De Tierra Comprimida (Btc) Con Aditivos Bituminosos. Tecnológicas.

[7] Cid, J., Mazarrón, F. R., & Cañas, I. (2011). The Earth Building Normative Documents In The World. Informes De La Construcción, Universidad Politécnica De Madrid (España.

[8] Costantini-Romero, A. B., & Francisca, F. M. (2022). Construcción Con Bloques De Suelo Cemento Como Alternativa Sostenible Para Envolvente Edilicia Hábitat Sustentable.

[9] Deboucha, S., & Hashim, R. (2010). A Review On Bricks And Stabilized Compressed Earth Blocks. Department Of Civil Engineering, Faculty Of Engineering, University Of Malaya, Lembah Pantai, 50603 Kuala Lumpur, Malaysia.

[10] Gaitan Paredes, E. (2022). Evaluación De Bloques De Tierra Comprimida (Btc) Con Fines De Albañilería, Tacabamba, Chota [Tesis Para Optar El Título De Ingeniero Civil]. Universidad Nacional Autónoma De Chota. Obtenido De Https://Hdl.Handle.Net/20.500.14142/224

[11] Gómez, L. F. (2008). Diseño y análisis de experimentos con aplicaciones en ciencias e ingeniería. MEXICO: McGRAW-HILL/INTERAMERICANA EDITORES, S.A.

[12] Gutiérrez, R. S., & EspunaMujica, J. A. (2012). El Hidróxido de Calcio y los bloques de tierra. Revista Electrónica

Nova Scientia.

[13 Infante Guevara, A. (2018). Resistencia a la compresión y absorción en bloques de tierra comprimida, con adición de goma de aloe vera, Cajamarca 2018 [Tesis de licenciatura]. Universidad Privada del Norte. Obtenido de https://hdl.handle.net/11537/24778

[14] Kuma, M. M., Dongmo, K., Francois, N., Alakeh, M. N., Eulalie, M. B., & Emmanuel, Y. (2020). Compressed Stabilized Earth Brick (CSEB) As Building. IOSR de Ingeniería Civil y Mecánica (IOSR-JMCE).

[15] Malkanthi, S., Balthazaar, N., & Perera, A. (2019). Case Studies in Construction Materials. Casos de Estudio en Materiales de Construcción.

[16] Ministerio de vivienda, Construccion y Saneamiento. (2010). Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. Obtenido de http://www3.vivienda.gob.pe/dnc/archivos/Estudios_Normalizacion/Manuales_guias/MANUAL%20ADOBE.pdf

[17] Molar, O. M., Velazquez-Lozano, J., & Vazquez-Jimanez, M. G. (2020). Comportamiento Térmico De Tres Prototipos En Saltillo, Coahuila (Bloques De Tierra, Concreto Y Tapa De Huevo). Hábitat Sustentable.

[18 Mostafa, M., & Uddin, N. (2016). Experimental analysis of Compressed Earth Block (CEB) with banana fibers resisting flexural and compression forces. Case Studies in Construction Materials.

[19 Nagaraj, H., Sravan, M., Arun, T., & Jagadish, K. (2014). Role of lime with cement in long-term strength of. International Journal of Sustainable Built Environment.

Papayianni, I., & Pachta, V. (2017). Earth block houses of historic centers. A sustainable upgrading with compatible repair materials. Procedia Environmental Sciences.

[20] Rivera, B. M., & Zerón, J. C. (2019). El ladrillo de bloque de tierra comprimida: una alternativa para reducir la carga ambiental. INNOVARE Revista de Ciencia y Tecnología, 6.

[21] Rocio Rafaela Gallegos Villela, E. A.-G. (2021). Mathematical Model Of The Eroding Effect On The Surface Morphology Of Compressed Earth Bricks. International Journal Of Emerging Trends In Engineering Research, 6.

[22] Romero, G. A., Jacinto, C., Reyes, R. G., & Gonzales, S. A. (2020). Evaluación Del Bloque De Tierra Mediante Un Estudio De Viabilidad Constructiva (Evc). Hábitat Sustentable, 16.

[23] Sadek, D., & Roslan, H. (2011). A Review On Bricks And Stabilized Compressed Earth. Scientific Research And Essays.

[24] Santiago Pedro Cabrera, Y. G.-J.-D. (2020). Bloques De Tierra Comprimida (Btc) Estabilizados Con Cal Y Cemento. Evaluación De Su Impacto Ambiental Y Su Resistencia A Compresión. Revista Hábitat Sustentable. Obtenido De Http://Dx.Doi.Org/10.22320/07190700.2020.10.02.05

[25] Saucedo, O. M. (2020). Diseño de bloque de tierra comprimida estabilizado con cemento, como material sostenible, para el uso en la construcción de viviendas rurales en la provincia de San Martín, Región San Martín [Tesis para optar el Título Profesional de Ingeniero Civil]. Repositorio digital. Obtenido de http://hdl.handle.net/11458/3868

[26] Tausif E Elahi, A. R. (2020). Effectiveness of saw dust ash and cement for fabrication of compressed. Construction and Building Materials, 11.

Patents (Patentes):

◦

Alcides Gervasio Mango Mamani, Bachiller en Ingeniería Civil por la Universidad Peruana Unión, con experiencia en gestión y supervisión de proyectos de infraestructura y telecomunicaciones. He liderado el planeamiento, ejecución y supervisión de obras de infraestructura vial (carreteras, pistas y veredas) y me he desempeñado como Asistente Técnico y Encargado del Departamento de Radio en Bitel, gestionando proyectos de instalación de antenas y coordinando equipos de trabajo. Cuento con más de tres años de experiencia en el sector de telecomunicaciones y formación especializada en Seguridad y Salud en el Trabajo (SST), Trabajos en Altura y Primeros Auxilios, asegurando el cumplimiento de normativas y estándares de seguridad en todas las fases de los proyectos. Domino herramientas tecnológicas como AutoCAD, Civil 3D, MS Project y software de análisis estructural, lo que me permite optimizar la planificación y ejecución de proyectos. Mi perfil se caracteriza por la orientación a resultados, adaptabilidad y capacidad de trabajo en equipo, habilidades que aplico para contribuir al éxito de proyectos técnicamente desafiantes y al desarrollo sostenible de la infraestructura.
ORCID: https://orcid.org/0009-0003-5880-5573

Rumeld Machaca Llanos, Bachiller en Ingeniería Civil por la Universidad Peruana Unión y egresado de la Maestría en Ingeniería Civil con mención en Gerencia de la Construcción en la Universidad Privada de Tacna, con experiencia en gestión pública, formulación, ejecución y supervisión de proyectos de inversión y obras de infraestructura. He desempeñado funciones como Responsable de la Unidad Formuladora y Asistente de Subgerencia de Infraestructura en la Municipalidad Distrital de Tiquillaca, Especialista en proyectos de inversión en Cairani y Amantaní, así como Jefe del Área Técnica Municipal en Huacullani, acumulando más de cuatro años de trayectoria en gestión de proyectos, mantenimiento preventivo y cumplimiento de programas de incentivos municipales. Poseo formación complementaria en contrataciones del Estado, gestión pública, costos y presupuestos, supervisión y residencia de obras, además de competencias en software especializado como AutoCAD, Revit, Civil 3D, MS Project, S10, Delphin Express 360 y ETABS. Mi perfil se caracteriza por la responsabilidad, la capacidad de trabajo en equipo, la adaptabilidad y la orientación a resultados, cualidades que me permiten contribuir de manera eficiente al logro de objetivos institucionales y al desarrollo sostenible de proyectos de infraestructura.
ORCID: https://orcid.org/0009-0009-3729-4843

ANEXOS

ANEXO 1. EVIDENCIA DE SUMISIÓN

E

Editora: Line Yasmin Becerra Sánchez, PhD.<entrecei@ucp.edu.co>

Para: yesenia.apaza

Mié 8 Oct 2025 08:46

Yesenia Apaza Pinto:

Gracias por enviar el manuscrito "Elaboración de bloques de tierra estabilizados con cemento para viviendas en zonas periféricas Huacullani, 2023" a Entre Ciencia e Ingeniería. Con el sistema de gestión de publicaciones en línea que utilizamos podrá seguir el progreso a través del proceso editorial tras iniciar sesión en el sitio web de la publicación:

URL del manuscrito: https://revistas.ucp.edu.co/index.php/entrecienciaeingenieria/authorDashboard/submission/3257
Nombre de usuario/a: yesenia

Si tiene alguna duda puede ponerse en contacto conmigo. Gracias por elegir esta editorial para mostrar su trabajo.

_____

[%7B$contextUrl%7D]{$contextName}

Responder Reenviar

ANEXO 2. COPIA DE RESOLUCIÓN DE EXPEDITO

UPeU
UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN

"AÑO DE LA RECUPERACIÓN Y CONSOLIDACIÓN DE LA ECONOMÍA PERUANA"

RESOLUCIÓN N° 0695-2025/UPeU-FIA-CF

Lima, Ñaña, 14 de octubre de 2025

VISTO:

El expediente de los (las) bachilleres **Rumeld Machaca Llanos** identificado(a) con código universitario N° **201322707** y **Alcides Gervasio Mango Mamani** identificado(a) con código universitario N° **201322700**, de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad Peruana Unión;

CONSIDERANDO:

Que la Universidad Peruana Unión tiene autonomía académica, administrativa y normativa, dentro del ámbito establecido por la Ley Universitaria N° 30220 y el Estatuto de la Universidad;

Que la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad Peruana Unión, mediante sus reglamentos académicos y administrativos, ha establecido las formas y procedimientos para la sustentación de la tesis en formato artículo;

Que el Comité Dictaminador ha emitido su dictamen aprobando el informe de tesis titulado "Elaboración de bloques de tierra estabilizados con cemento para viviendas en zonas periféricas Huacullani, 2023", presentado por los (las) bachilleres **Rumeld Machaca Llanos** y **Alcides Gervasio Mango Mamani**, reuniendo de esta manera las condiciones previas para la declaratoria de expedito para la programación de la sustentación;

Estando a lo acordado en la sesión del Consejo de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad Peruana Unión, celebrada el 14 de octubre de 2025, y en aplicación del Estatuto y el Reglamento General de investigación de la Universidad;

SE RESUELVE:

1. Declarar expedito a los (las) bachilleres **Rumeld Machaca Llanos** y **Alcides Gervasio Mango Mamani**, para que sustenten la tesis en formato artículo titulada "Elaboración de bloques de tierra estabilizados con cemento para viviendas en zonas periféricas Huacullani, 2023", conducente a la obtención del título profesional de Ingeniero Civil, el 07 de noviembre a las 12:00 horas, en la modalidad presencial, en el Salón de Actos Wellesley Muir.

2. Designar el Jurado de Sustentación, encargado de gestionar la sustentación respectiva, el mismo que queda constituido por los siguientes miembros:

   Presidente: Mtro. Leonel Chahuares Paucar
   Secretario: Mg. Herson Duberly Pari Cusi
   Asesor: MSc. Ecler Mamani Chambi
   Vocal 1: Mg. Alder Jhosue Quispe Panca

Regístrese, comuníquese y archívese.

UNIVERSIDAD PERUANA UNION - FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA - DECANA

Dra. Erika Inés Acuña Salinas
DECANA

UNIVERSIDAD PERUANA UNION - FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA - SECRETARIO ACADÉMICO

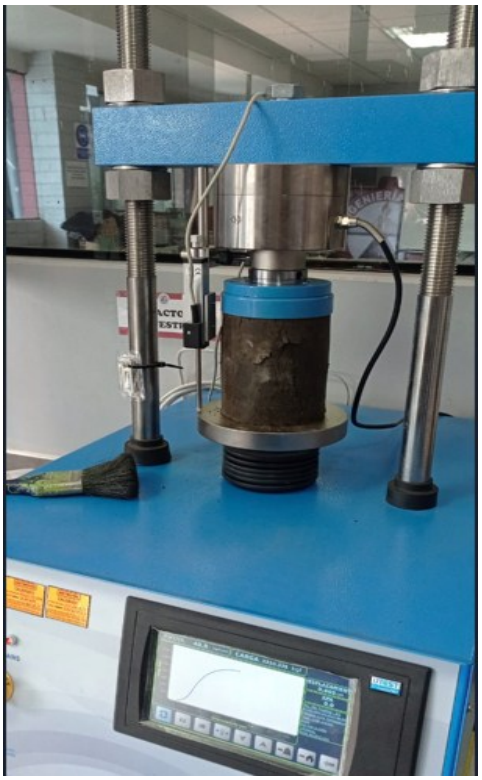
Lic. Gina Marita Tito Tolentino
SECRETARIA ACADÉMICA

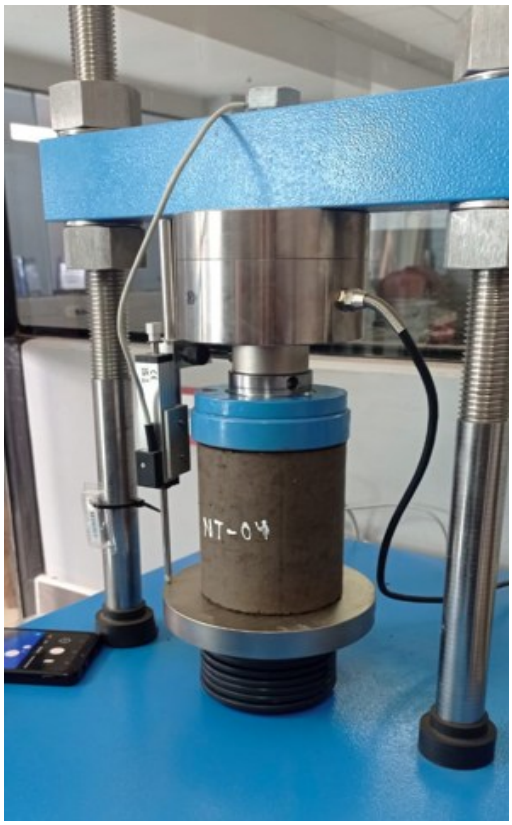
cc:
-Interesado
-Jurado (04)
-Secretaría General
-Archivo

ANEXO 3. FOTOGRAFIAS

HI-TECH
EDUCATION
MAGNUS
MUESTRA-02

Unión
Unión




NT-04

NT-03

Tesistas: Ruseli Mackers y Alcides Mango
Ensayo: Compresión Axial en Pilas
Muestra: M-02 (21 días)
Fecha: Marzo - 2025