



UNIVERSIDAD PERUANA DE CIENCIAS APLICADAS

FACULTAD DE INGENIERÍA

PROGRAMA ACADÉMICO DE INGENIERÍA CIVIL

Diseño de bloques de adobe con adición de residuos de papel (PPR) para mejorar el desempeño térmico de las viviendas de adobe frente al friaje en el distrito de Cullhuas, Huancayo – Junín

TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL

Para optar el título profesional de Ingeniero Civil

AUTOR(ES)

Yupanqui Dias, Jhan Franco	0000-0002-5531-9954
Chacon San Martin, Alexandra Nikita	0000-0002-9058-5334

ASESOR(ES)

Eyzaguirre Acosta, Carlos Augusto	0000-0001-9769-2135
-----------------------------------	---------------------

Lima, 15 de noviembre de 2023

DEDICATORIA

Esta tesis está dedicada en mi primer lugar a mis padres que con su gran esfuerzo, amor y paciencia hicieron posible que cumpla uno de mis grandes deseos.

Segundo lugar a mis amigos que estuvimos en las buenas y en las malas y que valió la pena cada día para llegar a este momento.

A mi asesor por los consejos brindados y ofrecer toda su experiencia profesional para cumplir con nuestros objetivos.

A nuestros docentes que son un ejemplo de profesionalismo y que son sus experiencias y enseñanzas aprendimos.

Alexandra Nikita Chacón San Martín

Esta tesis está dedicada a mis padres. Por todo el apoyo, paciencia y cariño a lo largo de este camino, por alentarme y enseñarme que la educación es lo más preciado que me pueden heredar.

A mi abuelito Marino[†]. Por ser un abuelo noble, cariñoso y haber compartido momentos únicos conmigo; y por darme fuerzas desde el cielo.

A mis familiares, por su apoyo y motivación para seguir esforzándome para alcanzar este hito en mi vida y demostrarme que siempre puedo contar con ellos.

A nuestro asesor, por sus enseñanzas, profesionalismo y el tiempo dedicado para el desarrollo de esta investigación.

Jhan Franco Yupanqui Díaz

AGRADECIMIENTOS

Agradecer en primer lugar a Dios, a nuestros padres que fueron nuestro motor en los días y noches más difíciles durante las horas de estudio. Son unos extraordinarios guías, siempre estaremos agradecidos por todo su esfuerzo.

A nuestros docentes los cuales nos formaron con un excelente y preciso conocimiento, gracias a ellos por su paciencia, tolerancia y dedicación.

A nuestros amigos gracias por el apoyo y por compartir inmensas horas de estudios.

RESUMEN

El invierno en el Perú es muy crudo y causa estragos en la economía y en la población cada año. Las regiones altoandinas del país son las más afectadas, como es el caso de Cullhuas, distrito de Huancayo, donde la temperatura llega a descender hasta 2°C y afecta severamente a la población. Una de las causas de esta problemática es la ineficiencia de sus viviendas por procesos constructivos incorrectos y materiales no utilizados correctamente. Una alternativa de solución es la adición de papel reciclado (PPR) durante el proceso de elaboración de los adobes, material muy utilizado, pero que puede mejorar su desempeño. Esta investigación consiste en la elaboración de bloques de adobe con porcentajes de 7.5% y 12.5%, valores referidos de estudios previos, y su comparación con adobes tradicionales y según la normativa peruana. Para estudiar la influencia de dicha adición, estos bloques se someten a pruebas de conductividad térmica y ensayos de resistencia por compresión. La variable principal de análisis es la conductividad térmica, que mide la capacidad de transferencia de calor de un material, pues indica que puede almacenar mejor el calor. Los resultados del estudio señalan que la adición óptima de PPR es del 12.5% porque mejora significativamente el desempeño térmico del adobe, a través de la reducción de su conductividad térmica en un 42.9%. También, contribuye a la resistencia por compresión pues mejora en 10% y además permite obtener adobes hasta un 25.5% más ligeros. Además, representa una excelente alternativa para migrar a tecnologías eco amigables.

Palabras clave: Adobe; Papel Reciclado; Conductividad térmica; Desempeño térmico; Bloque de tierra; Resistencia por compresión.

ABSTRACT

Winter in Peru is very harsh and wreaks havoc on the economy and the population every year. The high Andean regions of the country are the most affected, as is the case of Cullhuas, district of Huancayo, where the temperature drops to 2°C and severely affects the population. One of the causes of this problem is the inefficiency of their homes due to incorrect construction processes and materials not used correctly. An alternative solution is the addition of recycled paper (PPR) during the adobe manufacturing process, a widely used material, but which can improve its performance. This research consists of the production of adobe blocks with percentages of 7.5% and 12.5%, values reported from previous studies, and their comparison with traditional adobes and according to Peruvian regulations. To study the influence of said addition, these blocks are subjected to thermal conductivity tests and compression resistance tests. The main analysis variable is thermal conductivity, which measures the heat transfer capacity of a material, as it indicates that it can store heat better. The results of the study indicate that the optimal addition of PPR is 12.5% because it significantly improves the thermal performance of adobe, through the reduction of its thermal conductivity by 42.9%. Also, it contributes to the compression resistance by 10% and also allows obtaining adobes that are up to 25.5% lighter. In addition, it represents an excellent alternative to migrate to eco-friendly technologies.

Keywords: Adobe; Recycled Paper; Thermal Conductivity; Thermal Performance; Ground Block; Compressive Strength.

u20161a282_Yupanqui Dias, Jhan Franco_Diseño de bloques de adobe con adición de residuos de papel (PPR) para mejorar el desempeño térmico de las viviendas de adobe frente al friaje en el distrito de C

INFORME DE ORIGINALIDAD



FUENTES PRIMARIAS

1	hdl.handle.net Fuente de Internet	3%
2	repositorioacademico.upc.edu.pe Fuente de Internet	3%
3	upc.aws.openrepository.com Fuente de Internet	1%
4	sigrid.cenepred.gob.pe Fuente de Internet	1%
5	repositorio.ucv.edu.pe Fuente de Internet	1%
6	www.coursehero.com Fuente de Internet	<1%
7	rinacional.tecnm.mx Fuente de Internet	<1%
8	repositorio.unap.edu.pe Fuente de Internet	<1%

TABLA DE CONTENIDOS

1. ÍNDICE DE TABLAS	IX
2. ÍNDICE DE FIGURAS	X
3. INTRODUCCIÓN	12
4. JUSTIFICACIÓN.....	13
5. ESTADO DEL ARTE	13
6. LIMITACIONES.....	17
1. MARCO TEÓRICO.....	17
1.1 BLOQUE DE ADOBE.....	17
1.2. TÉCNICAS DE FABRICACIÓN DE BLOQUE DE ADOBE.....	18
1.2.1. Elaboración del diseño del bloque de adobe tradicional.....	18
1.2.2. Elaboración del Diseño del bloque de adobe por la norma E.080....	18
1.3. RESIDUOS DE PAPEL	18
1.3.1. La celulosa	18
1.4. LA CONDUCTIVIDAD TÉRMICA.....	19
1.4.1. La conductividad térmica y la estructura	19
1.5. ADICIÓN DE PAPEL RECICLADO (PPR) EN ADOBE	20
2. METODOLOGÍA.....	21
2.1 NIVEL DE INVESTIGACIÓN	21
2.2 DISEÑO DE INVESTIGACIÓN	21
2.3 PROCEDIMIENTO	22
3. APLICACIÓN DE RESIDUOS DE PAPEL (PPR) EN LA FABRICACIÓN DE BLOQUES DE ADOBE	24
3.1. DIAGNÓSTICO Y ANÁLISIS DE LA SITUACIÓN ACTUAL EN LA ZONA DE ESTUDIO	24
3.2. ENSAYO DEL SUELO PARA LA ELABORACIÓN DE LOS BLOQUES CON Y SIN ADICIÓN DEL PAPEL RECICLADO (PPR)	28
3.3. DISEÑO Y ELABORACIÓN DE BLOQUES DE ADOBE CON ADICIÓN DE PAPEL RECICLADO (PPR).....	30
3.3.1. Procedimiento de elaboración de los bloques de adobe	34

3.3.2.	Control de proceso de secado de los bloques de adobe	35
3.3.3.	Proceso de elaboración del adobe tradicional en el distrito de Cullhuas	43
3.4.	REALIZACIÓN DE ENSAYOS POR COMPRESIÓN Y CONDUCTIVIDAD A LOS BLOQUES DE ADOBE.....	44
3.4.1.	Ensayo de conductividad térmica de bloques de adobe	45
3.4.2.	Ensayos de resistencia por compresión de bloques de adobe	46
3.5.	ANÁLISIS Y COMPARACIÓN DE RESULTADOS DE ENSAYOS DE CONDUCTIVIDAD Y RESISTENCIA	50
3.5.1.	Análisis y comparación de resultados de ensayos de conductividad térmica	50
3.5.2.	Análisis y comparación de resultados de ensayos de resistencia por compresión	52
3.6.	DISEÑO DE MURO DE ACUERDO CON LA NORMA E.080	53
4.	CONCLUSIONES	55
5.	RECOMENDACIONES	57
6.	REFERENCIAS	59
7.	ANEXOS	61

1. ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Número total de personas vulnerables en el distrito de Cullhuas.....	26
Tabla 2: Número y estado de establecimientos de salud que hay en el distrito de Cullhuas.	28
Tabla 3: Cantidad de materiales para elaboración de 21 bloques de adobe.	31
Tabla 4: Dimensiones de los bloques de adobe.....	32
Tabla 5: Grupos de control para análisis de bloques de adobe.....	32
Tabla 6: Resultados del ensayo de conductividad térmica.....	33
Tabla 7: Resultados del ensayo por compresión del grupo de bloques de adobe tradiciones.....	45
Tabla 8: Resultados del ensayo por compresión del grupo de bloques de adobe por la norma E-0.80.	46
Tabla 9: Resultados del ensayo por compresión del grupo de bloques de adobe con la adición del 7,5% de papel reciclado.	47
Tabla 10: Resultados del ensayo por compresión del grupo de bloques de adobe con la adición del 12,5% de papel reciclado.	48
Tabla 11: Resultados del ensayo por compresión del 3er grupo de bloques de adobe con la adición del 7,5% de papel reciclado	48
Tabla 12: Resultados del ensayo por compresión del 4to grupo de bloques de adobe con la adición del 12,5% de papel reciclado	49
Tabla 13: Cuadro resumen de la resistencia por compresión de cada grupo.....	49

2. ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Diagrama de las etapas para la aplicación de residuos de papel (PPR) en la fabricación de bloques de adobe.....	24
Figura 2: Temperatura máxima y mínima promedio en Cullhuas.....	25
Figura 3: Registro mensual de emergencias por heladas en Junín..	25
Figura 4: Registro mensual de emergencias por heladas según provincias de Junín..	26
Figura 5: Índice de daños a la salud en menores de 5 años para heladas.	27
Figura 6: Bolita de la tierra de la cantera en el distrito de Cullhuas.....	29
Figura 7: Muestra de las 4 bolitas de la tierra escogida de la cantera.	29
Figura 8: Muestra de las 4 bolitas después de la presión dada.	30
Figura 9: Estado de los grupos de adobes formados según las proporciones mencionadas.	36
Figura 10: Bloque de adobe por la norma E0.80, parte frontal.	36
Figura 11: Estados de los grupos de adobes formados según las proporciones mencionadas..	¡Error! Marcador no definido.
Figura 12: Volteado de bloques de adobe luego de finalizar la semana 1 de secado. ...	38
Figura 13: Estado de los grupos de adobes formados según las proporciones mencionadas al finalizar la segunda semana de secado.	39
Figura 14: Tendencia constante en el control de generación de fisuras entre bloque con adición de PPR y sin adición de PPR..	40
Figura 15: Bloque de adobe sin adición de papel reciclado con fisuras notables ..	¡Error! Marcador no definido.
Figura 16: Estado de los grupos de adobes formados según las proporciones mencionadas al finalizar la tercera semana de secado.....	¡Error! Marcador no definido.
Figura 17: Bloques de abobe por la norma E080 sin adición de PPR de vista frontal, con fisuras notables...	41
Figura 18: Bloques de abobe por la norma E080 con adición de PPR de vista frontal, sin fisuras.	41
Figura 19: Estado de los grupos de adobes formados según las proporciones mencionadas al finalizar la cuarta semana de secado.....	42
Figura 20: Elaboración de los bloques de adobe con la adición del papel reciclado..	43
Figura 21: Bloques de abobe por la norma E080 con adición de PPR de vista frontal, sin fisuras	43
Figura 22: Cuadro de densidad según el tipo de bloque de adobe	50

Figura 23: Cuadro de conductividad térmica según el tipo de bloque de adobe	51
Figura 24: Cuadro de resistividad térmica según el tipo de bloque de adobe.	52
Figura 25: Pesos de bloques de adobes según tipo y adición de papel reciclado	53
Figura 26: Esquema de cimentación de un muro de adobe.	54
Figura 27: Construcción reforzada con geomallas	54
Figura 28: Ingreso a cantera de Cullhuas para la recolección de la tierra para los bloques de adobe.....	61
Figura 29: Elaboración de los bloques de adobe con la adición del papel reciclado.	62
Figura 30: Se realizó el ensayo de compresión a 26 bloques de adobe, 1er grupo 6 adobes tradicional, 2do grupo 6 adobes por la norma E-0.80, 3er grupo 6 adobes con adición del 7.5% de papel reciclado y 4to grupo 8 adobes con la adición del 12.5% de papel reciclado	63
Figura 31: Resultados de los ensayos de conductividad térmica de 3 muestras de adobe, 2do bloque por la norma E-0.80, 3er bloque con adición de 7.5% de papel reciclado y 4to bloque de adobe con adición de 12.5% de papel reciclado	64
Figura 32: Resultados del ensayo por compresión de 4 grupos de adobe, 1er grupo 6 bloques de adobe tradicional, 2do grupo 6 blquesde adobe por la norma E-0.80, 3er grupo 6 bloques de adobe con adición de 7.5% de papel reciclado y 4to grupo 8 bloques de adobe con con adición de 12.5% de papel reciclado.	65

3. INTRODUCCIÓN

Realidad problemática

El Perú es un país que está atravesado a lo largo de su territorio por la Cordillera de los Andes. Esta característica permite tener estaciones climáticas diferenciadas durante el año. Una de las estaciones más difíciles de enfrentar para el país es el invierno, sobre todo en las zonas Altoandinas del país. Según Centro Nacional de Estimación, Prevención y Reducción del Riesgo de Desastres (CENEPRED, 2022), el descenso de las temperaturas se debe al ingreso de masas de aire heladas provenientes desde el Sur, originadas en la Antártida, causando descensos pronunciados y como consecuencias heladas y friajes que causan daños humanos y materiales.

Cada año, las heladas y el friaje son un problema crítico para las zonas Andinas y de la Amazonia. Según el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI, 2022), las heladas se originan cuando la temperatura desciende hasta 0°C o incluso puede disminuir a valores inferiores, se da entre los meses de abril a agosto en las zonas andinas del país causando consecuencias nefastas en la población, ganado y cultivos. Así mismo, el friaje consiste en la llegada de aire frío que se inicia con lluvias de fuerte intensidad, vientos y tormentas eléctricas ocasionando descensos notables en la temperatura y llegan entre 6 a 10 veces al año, con una duración promedio de 10 días y de desplazan de Sur a Norte. Estos fenómenos estacionales se manifiestan en diversas regiones del país causando estragos en las poblaciones más vulnerables. Un claro ejemplo de afectación es la región Junín, cada año se ve afectado por el friaje, además de las heladas, se elevan los índices de personas con infecciones respiratorias, muertes y pérdidas de ganados y cultivos, que representan activos en su economía.

En los últimos años, se vienen desplegando planes estatales para mitigar los efectos del friaje y las heladas, sin embargo, no son suficientes y las consecuencias nefastas persisten. Esta problemática situación la podemos observar en el distrito Cullhuas, provincia de Huancayo en Junín. Según un informe del CENEPRED (2022), elaborado con el objetivo de evaluar las zonas potenciales de riesgo ante heladas y friajes en el 2023, Cullhuas se ubica en un riesgo alto debido a la precariedad de sus viviendas, centros médicos que respondan ante una creciente demanda, falta de políticas efectivas contra el friaje y las heladas. Actualmente, la población se compone de 1335 habitantes, con una población

representativa de niños y adultos mayores vulnerables que son el 30% del total de habitantes que son potenciales afectados por el friaje. Así también, cuentan con 4 centros médicos, de los cuales ninguno tiene capacidad de internamiento. Sin embargo, una de las observaciones más alarmantes es la precariedad de sus viviendas construidas principalmente de adobe, que no están preparadas para enfrentar los efectos de las bajas temperaturas. Aunque el adobe es un material con baja conductividad térmica, ecológico y accesible; los problemas radican en deficientes procesos de construcción que producen fisuras por donde filtran los vientos fríos, una inadecuada preparación del adobe o falta de materiales complementarios y diseños adecuados que permitan viviendas mejor preparadas. Entonces, el adobe es un material muy popular y accesible en construcciones rurales del Perú, sobre todo en países andinos, por tal motivo se requiere investigar métodos para aumentar el confort y la eficiencia energética de las construcciones (Abanto et al., 2017). Por lo tanto, es necesario abordar esta problemática con el objetivo de encontrar alternativas accesibles de materiales y diseños mejorados de viviendas con un material utilizado desde hace miles de años que ha demostrado ser eficiente para combatir las bajas temperaturas causadas por las heladas y el friaje.

Formulación del Problema

¿Cómo se puede reducir la conductividad térmica del adobe para mejorar su desempeño frente al friaje en el distrito de Cullhuas, Huancayo?

4. JUSTIFICACIÓN

El adobe es uno de los materiales más antiguos utilizados para la construcción de viviendas. Existen registros y evidencias de su uso en las culturas más representativas de la historia del mundo como Mesopotamia, Caral y el imperio Inca. Su gran difusión se debe a sus prestaciones mecánicas y a que su elaboración requiere de recursos disponibles en el medio. Entonces, es un material con mucha presencia en el Perú. Según el Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI, 2017), existen 2 148 494 viviendas de adobe registradas en el CENSO del año 2017, esta cifra solo decreció en 3.5% respecto al estudio previo realizado en el año 2007. Entonces, el porcentaje de representación en relación con el total de viviendas censadas alcanza un 27.9%, un porcentaje considerable para la realidad peruana. Así también, se observa la presencia del adobe en regiones como Junín, donde de acuerdo con el Censo realizado en el 2017, el adobe es uno de los materiales predominantes en dicha región, puesto que, del total viviendas registradas, más del 30%

están construidas con adobe frente a las de materiales convencionales. Específicamente en el distrito de Cullhuas, de acuerdo con el estudio realizado por el CENEPRED (2022), dato corroborado según resultados del CENSO 2017, se registraron 441 viviendas particulares en el distrito mencionado, en donde el porcentaje de viviendas de adobe alcanza un 98%, es decir el material de construcción predominante en el distrito estudiado es el adobe. Esta tendencia se debe a las características anteriormente mencionadas, pero también el adobe es un excelente aislante térmico porque tiene una conductividad térmica baja aproximadamente de 0.700 (W/m*K) que permite que la pérdida del calor acumulado durante el día sea lenta durante la noche, lo que favorece al confort térmico en las viviendas altoandinas.

Aunque el desempeño térmico del adobe es positivo, este presenta limitaciones propias del material respecto a su capacidad de retener el calor acumulado, además de las limitaciones mecánicas en resistencia a la compresión y a la humedad. Además, las viviendas de adobe presentan errores en el proceso constructivo desde la elaboración de los bloques de adobe hasta la construcción de la vivienda porque se dejan fisuras por donde se filtra el frío y afecta negativamente el confort térmico. En la actualidad, se ha investigado el uso de residuos agroindustriales como las cascara de arroz, pencas de tunas, cascara de coco. Por ejemplo, el uso de las fibras y hojas de Neem en la elaboración de los bloques de adobe en proporciones del 1, 2, 3 y 4% han alcanzado a mejorar las propiedades mecánicas, térmicas y de durabilidad de los bloques de adobe, estableciéndose una diferencia en la presentación de su aplicación, puesto que las hojas de Neem tienen un mejor desempeño térmico, pero son poco durables, mientras que las fibras de Neem muestran un comportamiento más estable (Babé et al., 2021). Sin embargo, la producción de estos residuos es estacional y también tienen otros usos que son priorizados por los productores. Este es el caso de un pueblo de Camerún que emplea los residuos de la producción de mijo para mejorar las propiedades de resistencia, conductividad térmica y durabilidad de los adobes, a través de la adición entre el 2 y 4% en su estructura, pero es una fibra que se localiza solo en esa región, que tiene un tiempo de producción estacional y que su investigación aun está en desarrollo (Babé et al., 2020). Además, generan una huella ecológica considerable. Entonces, una alternativa de solución es la migración al uso de residuos industriales como los residuos de papel y celulosa (PPR), que tiene una conductividad térmica baja de 0.039 (W/m*K) y un alto desfase térmico. Este material procede de residuos como papel periódico reciclado, tiene un excelente comportamiento térmico por su densidad equilibrada debido al orden celular

que dificulta el paso del calor. Además, este material está compuesto en un 85% de papel reciclado, producto de residuos, y un 15% de ácido bórico que lo hace resistente al fuego. Es así como, la adición de residuos de papel (PPR) en determinados porcentajes mejora las propiedades del adobe como resistencia a la compresión, resistencia al agua y reduce la conductividad térmica. Es preciso señalar que, en comparación con adiciones como la fibra de vidrio que tiene 50% de contenido reciclado, los residuos de papel (PPR) tienen residuos reciclados casi en su totalidad, ubicándose como la adición con mayor contenido reciclado y una excelente alternativa para mejorar las prestaciones del adobe.

5. ESTADO DEL ARTE

La investigación realizada por Mohamed et al. (2022) tiene como objetivo abordar el problema de la contaminación generada por la fabricación de materiales de construcción convencionales como el cemento Portland. Además, que la producción de los materiales de construcción genera el 8% de emisiones de CO₂ a nivel mundial. Esto impulsa la necesidad de promover el uso de materiales ecológicos como el adobe. Entonces, a partir de conocer sus limitaciones se busca mejorar sus prestaciones a través de la adición de la ceniza de paja de arroz (RSA), puesto que este representa también una fuente de contaminación. Los ensayos se realizan para evaluar sus prestaciones mecánicas, absorción de agua, conductividad térmica mediante la inclusión de RSA. Los resultados son alentadores puesto que, se logra mejorar notablemente estas propiedades y abre la investigación de estas adiciones. Asimismo, el estudio realizado por Holguino et al. (2018) destaca el uso del adobe en la construcción de viviendas donde se realizan estudios y ensayos para conocer la conductividad térmica de los materiales y partes que la componen. La evaluación realizada por los autores se apoya en los valores teóricos obtenidos en estudios previos y se realiza a través de la construcción de dos habitaciones prueba (HP) y (HC), una de prueba principal y otra de comparación. Las mediciones las realizaron mediante mediciones indirectas con el instrumento Thermal Conductivity Apparatus TD-8561: PASCO. Los resultados obtenidos señalaron que el adobe en complemento con otros materiales dentro de su estructura y en el proceso de construcción alcanzan valores bajo de conductividad térmica y buena capacidad calorífica, por lo tanto son buenos materiales termorreguladores.

Definiendo y buscando un material de complemento que ayude a reducir la conductividad térmica en el adobe y que promueva el uso de materiales ecológicos encontramos los residuos de papel, Por un lado, en el artículo realizado por Simao et al. (2019) se enfoca

a los resultados del estudio acerca de la caracterización de residuos de papel y celulosa y su reciclaje en la producción del Clinker, ya que la producción de pulpa de papel genera una variedad de tipos de desechos, incluye cenizas de la combustión de biomasa, sémola apagada y lodo de cal. Estos residuos dieron un resultado positivo ya que se estabilizaron con el Clinker y de esa manera se demostró el potencial de este método y el tratamiento de residuos de fábricas de celulosa y papel.

Por otro lado, el estudio realizado por Muñoz et al. (2020) desarrolla una nueva alternativa de adición para introducir en los materiales a base de tierra (SBM), específicamente el adobe, que consiste en adicionar residuos de la industria del papel y celulosa (PPR) con el fin de mejorar sus propiedades mecánicas, contaminantes y de conductividad térmica. La investigación responde a la necesidad de reducir la huella ecológica de la construcción y sobre todo a buscar reemplazar las fibras, que también generan huella por materiales como los residuos de papel y celulosa. Se realizaron series de ensayo con proporciones de hasta 20% de papel y celulosa para evaluar la efectividad. Se concluyó que la resistencia a la compresión mejora y conductividad térmica hasta un 190%.

Hipótesis

La aplicación de residuos de papel como material adicionado en el diseño de bloques de adobe reducen su conductividad térmica en un 30% en las viviendas del distrito de Cullhuas, Junín.

Objetivo General

Implementar el uso de residuos de papel como material adicionado en la etapa de elaboración de los bloques de adobe para mejorar el desempeño térmico ante el friaje y las heladas en el distrito de Cullhuas, Junín.

Objetivos Específicos

- Analizar y conocer la situación actual de la zona de estudio y evaluar la cantera de tierra según las pruebas indicadas en la normativa vigente.
- Diseñar y elaborar las muestras de bloques de adobe según los grupos de análisis establecidos en la metodología para los ensayos en laboratorio.
- Realizar los ensayos de resistencia a la compresión y conductividad térmica en los bloques de adobe tradicional y con la adición de PPR.

- Analizar y comparar los resultados obtenidos en los ensayos y evaluar si la adición de residuos de papel (PPR) mejora el confort térmico de las viviendas de adobe.

6. LIMITACIONES

Las principales limitaciones que se presentan para el desarrollo de la investigación son los siguientes:

- La evaluación de la situación actual será a partir de los registros de temperatura brindados por las entidades gubernamentales, debido a que no será posible hacer un levantamiento de campo por disponibilidad de tiempo.
- El número de muestras para el presente estudio está limitado por el presupuesto y la logística para movilizar más tierra de la cantera, esto limita a tener un mayor número de bloques para ensayar o definir más grupo de análisis.
- El tiempo de investigación implica una limitación para elaborar un mayor grupo de muestras, así como para la construcción de un módulo de vivienda en la zona de estudio para poder evaluar la efectividad con mayor precisión.
- La investigación sobre la adición de papel reciclado (PPR) en el adobe reduce la conductividad térmica. Así mismo, por disponibilidad de materiales y tiempo no se realizaron pruebas de resistencia en murete y pilas para evaluar su comportamiento como muro.

Descripción del Contenido

1. MARCO TEÓRICO

1.1 Bloque de adobe

Definimos bloque de adobe como un bloque macizo de tierra sin coser, su composición está hecha principalmente por la arcilla y arena, también puede tener limo en pocas cantidades, asimismo se agrega un material fibroso como la paja u otras fibras naturales, la paja de trigo es la encargada de darle consistencia y evitar que la arcilla se agriete al momento de secar. En algunos lugares se le agrega estiércol, es decir excremento de animal. Este bloque se fabrica de manera artesanal (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento [MVCS], 2017).

1.2. Técnicas de fabricación de bloque de adobe

1.2.1. Elaboración del diseño del bloque de adobe tradicional

El proceso de fabricación comienza por el amasado de la mezcla de arena y arcilla con paja de trigo, se agrega agua hasta obtener una mezcla homogénea y trabajable, luego se humedece el molde rectangular de 19 cm de ancho x 9 cm de largo y 8 cm de altura, Las medidas pueden variar según el lugar. Después se coloca la mezcla manualmente dentro del molde, para que finalmente se retire el molde y quede el bloque de adobe a la intemperie para su secado correspondiente. Para que el secado sea uniforme se debe dar vueltas al bloque en ambos sentidos tanto en vertical como horizontal.

1.2.2. Elaboración del Diseño del bloque de adobe por la norma E.080

Según la norma para la elaboración del bloque de adobe se debe realizar las pruebas de campo para confirmar una suficiente cantidad de arcilla y conocer la combinación adecuada de arcilla y arena gruesa. Luego se realiza el tamizado a la tierra antes de preparar el barro para tener un proceso de hidratación mínimo de 48 horas (MVCS, 2017). Se expande 3 baldes de tierra y en el centro se coloca 2 baldes agua, se comienza a mezclar dicha tierra con el agua, luego se hecha 1 balde de paja asimismo se le agrega arena. Después de mezclar se coloca la mezcla en el molde de 20cm de ancho x 15cm de largo y la altura debe estar entre 8 y 12 cm, previamente humedecido con arena. Para finalizar el secado del bloque de adobe se realiza en 30 días.

1.3. Residuos de papel

El papel reciclado mediante un proceso permite dar una segunda oportunidad a este material, compuesto por la celulosa en forma de fibra originario principalmente de la madera de los árboles. De esta manera contribuye al mantenimiento del medioambiente. La producción del papel es posible debido al ciclo que empieza de un recurso natural y renovable como la fibra de celulosa y que termina con los sucesivos procesos de reciclaje (Arquitectura Sostenible, 2021).

1.3.1. La celulosa

La celulosa es usada en la fabricación del papel como materia prima para la elaboración de papeles y cartones. La celulosa es un excelente aislante térmico, el aislante de celulosa es producido por la trituración del papel para reciclar, principalmente de excedentes de los periódicos (Arquitectura Sostenible, 2021).

1.4. La conductividad térmica

La conductividad térmica es la propiedad que describe el paso de la energía como calor a través del espesor de un cuerpo como resultado de una variación de temperatura. Entonces, se refiere a la habilidad intrínseca de un material para transferir o conducir calor. Cabe mencionar que es una de las 3 formas de transferencia, siendo las otras dos la radiación y la convección. La conductividad térmica se produce a través de la agitación molecular y contacto. El calor avanza con un gradiente de temperatura desde un área de alta temperatura y energía molecular a un área con menor temperatura y energía nuclear. Esta dinámica de transferencia se dará hasta alcanzar el equilibrio térmico. Dicha velocidad con la que se da la transferencia de calor depende de la magnitud del gradiente de temperatura y de las particularidades superficiales del material.

Según el Sistema Internacional de Unidades (SI), la unidad de medida para la conductividad térmica es de W/m.K (Vatios por metro grado Kelvin) y a partir de ecuaciones de velocidad. Entonces, a partir de esta ecuación es posible describir la ecuación de la conductividad térmica.

$$K = Q * \frac{L * (T2 - T1)}{A}$$

Donde:

Q: Flujo de calor (W)

L: Espesor del material (m)

A: Superficie del material (m²)

T2 – T1: Gradiente de temperatura (K)

1.4.1. La conductividad térmica y la estructura

La conductividad térmica consiste en la transferencia de calor y la transferencia de energía dentro de un material que no presente movimiento en su conjunto. Esta tasa de cambio depende principalmente de la variación de la temperatura, también conocida como gradiente de temperatura. Así mismo, en la naturaleza existen diversos materiales con diferente conductividad térmica que dependen de la dirección a través de la cual conducen el calor, también conocidos como anisotrópicos. Es así como, hay materiales que son conocidos como termorreguladores que son capaces de acumular calor y de perderlo con

más dificultad (Nave, 2020). Se puede citar el ejemplo del adobe puesto que es un excelente aislante térmico, la dinámica de su comportamiento de basa en la acumulación del calor durante el día, de manera que durante el día ofrezca una temperatura fresca al interior y por las noches puedan brindar una temperatura interna superior a la del ambiente. Sin embargo, la eficiencia de este material puede ser mejorada mediante la adición de fibras de origen agrícola que permitan obtener una estructura interna más ordenada y enlazada. Se han empleado fibras como la del fruto de la Palmira y la mezcla del bagazo a partir de esta, logrando mejorar propiedades del material adobe como un aumento en la porosidad, la resistencia y la conductividad térmica en ladrillos cocidos y crudos (Bullibabu et al., 2018).

1.5. Adición de papel reciclado (PPR) en adobe

El uso de materiales tradicionales de construcción está sumamente difundido a nivel mundial, sin embargo, los efectos negativos como la contaminación por las huellas ecológicas son preocupantes. Entonces, se busca orientar la construcción hacia el uso de materiales con mínima intervención energética en su producción. Una de las técnicas propuestas para seguir esta tendencia es la adición de residuos de papel reciclado, también conocido como PPR, a la mezcla fresca durante la elaboración de los bloques por las interesantes propiedades que esta adición puede aportar. Desde su concepción, esta aplicación responde a la necesidad de reducir la huella ecológica de uno de los residuos industriales más abundantes en el planeta, los residuos de papel, puesto que, al efecto positivo en el mejoramiento de un material de construcción sustentable, esta estrategia contribuye también a la reducción de desechos industriales y aporta al reemplazo de las fibras agroindustriales que comúnmente se utilizan (Muñoz et al., 2020).

La adición de los residuos de papel en los bloques de adobe tiene como objetivo mejorar las prestaciones del material respecto al comportamiento mecánico y la conductividad térmica. Además de propiedades como la resistencia al agua y la toxicidad. La investigación realizada por los autores principales indica resultados consistentes y alentadores como el mejoramiento de las propiedades mecánicas de los bloques de adobe hasta en un 190%, además de aligerar el peso de las estructuras construidas de adobe. Así mismo, la inclusión del papel reciclado (PPR) fue capaz de reducir hasta en un 30% la conductividad térmica de los bloques adicionados. Entonces, la aplicación de papel reciclado PPR es capaz de mejorar las prestaciones del adobe y brindar una solución

accesible para mejorar el desempeño térmico de las viviendas sometidas a bajas temperaturas en los meses de invierno.

2. METODOLOGÍA

2.1 Nivel de Investigación

El presente estudio desarrollado se establece en el nivel explicativo puesto que busca establecer las causas relacionadas con los efectos adversos del fenómeno del friaje en el distrito de Cullhuas, Huancayo – Junín y las consecuencias que se producen cada año afectando a poblaciones vulnerables y a toda una comunidad en general. La técnica aplicada a los bloques de adobe requiere una base sólida respecto a la información de la problemática existente como los indicadores de temperaturas promedio, índices de enfermedades respiratorias en los meses de inviernos, registros de mortandad en niños y adultos de la tercera edad productos de estas infecciones y registros de viviendas vulnerables por las deficiencias en el material constructivo. Además, de las condiciones sociales que propicien los escenarios de esta problemática como campañas insuficientes que no logran tener los resultados esperados.

2.2 Diseño de Investigación

La presente investigación se basa en un diseño de investigación experimental puesto que estudia las causas relacionadas con el problema del desempeño térmico de las viviendas de adobe en el distrito de Cullhuas – Junín ocasionado por las deficiencias del adobe como material de construcción, a pesar de sus prestaciones mecánicas, además de errores en el proceso constructivo de estas viviendas. Entonces, para estudiar y sustentar este problema, se propone una técnica de mejoramiento a través de la adición de papel reciclado (PPR) en la mezcla con proporciones previamente recomendadas. Así mismo, se definen las variables de control necesarias para el monitoreo de la eficacia de la técnica en mención y así validar la consistencia de las causas de este problema. La variable independiente se define a la conductividad térmica puesto que describe la capacidad de como viaja el calor a través de un material, esto explica que tan rápido se pierde el calor acumulado durante el día en las viviendas de adobe y la variable dependiente se define como la temperatura interna de la vivienda porque al reducirse la conductividad térmica en los bloques de adobe, entonces se pierde menos calor y la temperatura interna debe ser mayor que en el caso previo, con el adobe tradicional. Es así como, a través de este diseño de investigación se aborda la problemática de friaje en Cullhuas – Junín.

2.3 Procedimiento

El desarrollo del presente estudio sobre la adición de residuos de papel (PPR) en la elaboración de bloques de adobe para mejorar el comportamiento de las viviendas a través de la reducción de la conductividad térmica se contempla en 4 etapas que se enumeran a continuación:

1era Etapa: consiste en conocer y analizar la situación actual del distrito de Cullhuas a partir de los registros anuales de temperatura, potenciales zonas de riesgo del área para tener un panorama claro del contexto a evaluar. Las actividades incluidas como parte de la primera etapa son la determinación de las temperaturas mensuales registradas en el distrito de Cullhuas a partir de los datos recopilados por la estación meteorológica más cercana con el objetivo de encontrar la temperatura promedio. Seguido a esta actividad, se continua con el registro de afectados potenciales ubicados en el distrito de estudio tomando como base los mapeos realizados por el CENEPRED como poblaciones vulnerables y porcentajes de viviendas de adobe presentes en el distrito.

2da Etapa: consiste en la evaluación de la cantera seleccionada para extraer la tierra, ubicada en el distrito de Cullhuas. Cabe señalar que dicho distrito se caracteriza por la fabricación tradicional de bloques de adobe por las características de sus tierras. Para llevar a cabo esta etapa del estudio se procederá a tomar muestras que serán analizadas en un laboratorio de mecánica de suelos en la ciudad de Lima para determinar el porcentaje de contenido de arcilla. Así mismo, la norma que indica los lineamientos de la construcción con adobe, Norma E.080, señala que es posible realizar ensayos primarios fuera de laboratorio que permitirán tener los primeros indicios de la factibilidad del uso de dicha cantera para extraer la tierra para los bloques de adobe.

3ra Etapa: Se define por el diseño y elaboración de los bloques de adobe con la adición de los residuos de papel (PPR) incluidos en la mezcla. El diseño en cuanto a la proporción de los componentes de cada bloque se alinea estrictamente a los requerimientos de la Norma E.080, además que la calidad de la tierra y demás materiales cumplen dicha normativa. Para realizar el presente estudio se han definido 4 grupos de control diferenciados por los procesos y el porcentaje de adición de residuos de papel en la mezcla. A continuación, se enumeran y detallan los grupos de análisis de la presente investigación:

- **Grupo 1:** compuesto por bloques de adobe sin adición de papel reciclado (PPR) y fabricados siguiendo el método tradicional del distrito Cullhuas.

- **Grupo 2:** compuesto por bloques de adobe sin adición de papel reciclado (PPR) y fabricados siguiendo los requerimientos de la Norma E.080.
- **Grupo 3:** compuesto por bloques de adobe con adición de papel reciclado (PPR) al 7.5% y fabricados con los requerimientos de la Norma E.080.
- **Grupo 4:** compuesto por bloques de adobe con adición de papel reciclado (PPR) al 12.5% y fabricados con los requerimientos de la Norma E.080.

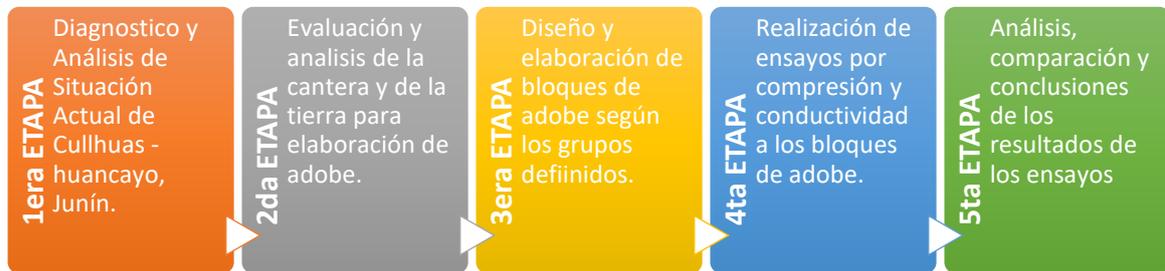
Los bloques de adobe tienen forma rectangular con medidas de 0.15x0.20 m y con un espesor de 0.08 m de acuerdo con lo establecido en la norma peruana en relación de largo y ancho, además del espesor mínimo permitido. Respecto al número de bloques son 27 bloques, 1er grupo que consta de 6 bloques y el 2do, 3er y 4to grupo de 7 bloques por cada grupo de estudio. La cantidad de bloques se define por los tipos de ensayos destructivos y no destructivos a realizar para estudiar la efectividad de la técnica propuesta.

4ra Etapa: consiste en realizar los ensayos de resistencia a la compresión y de conductividad térmica según la reglamentación vigente a los bloques de adobe previamente elaborados. Para estudiar la efectividad de que la adición de residuos de papel se requieren dos tipos de ensayos, los ensayos de resistencia por compresión y los ensayos de conductividad térmica. Los ensayos de resistencia por compresión en los bloques de adobe se realizan una vez que el proceso de secado haya finalizado porque se espera que el bloque haya llegado a su máxima capacidad de resistencia. Según los lineamientos de la Norma E.080, Diseño y Construcción con Tierra Reforzada, solicitan un mínimo de 6 muestras para evaluar y registrar los 4 mejores resultados para determinar la resistencia a la compresión de los bloques. El otro ensayo por realizar a cada grupo es el de conductividad térmica. La principal variable de estudio de la presente investigación es la conductividad, que consiste en la evaluación de la velocidad de flujo de calor de un medio a otro, es decir la velocidad con la que el calor fluye a través de un espesor. Estos ensayos por su complejidad se realizarán en las instalaciones de laboratorios de materiales.

5ta Etapa: La etapa final del estudio se debe analizar y comparar los resultados obtenidos en cada escenario propuesto en los grupos de control. Finalmente, se deben establecer las conclusiones y recomendaciones para poder desarrollar esta técnica con mayor difusión y evaluar la utilización de adiciones originadas de residuos en lugar de fibras agroindustriales.

Figura 1

Diagrama de las etapas para la aplicación de residuos de papel (PPR) en la fabricación de bloques de adobe.



Nota. Esta secuencia de etapas detalla el proceso que ha seguido la presente investigación.

En la **Figura 1**, se detalla el proceso secuencial que ha seguido el estudio de la inclusión del papel reciclado (PPR) en la elaboración de los bloques de adobe para lograr una mejorar en su desempeño térmico.

3. APLICACIÓN DE RESIDUOS DE PAPEL (PPR) EN LA FABRICACIÓN DE BLOQUES DE ADOBE

El caso de estudio es el diseño del bloque de adobe con la adición de residuos de papel (PPR) para viviendas de adobe frente al friaje en el departamento de Junín, provincia Huancayo, distrito Cullhuas.

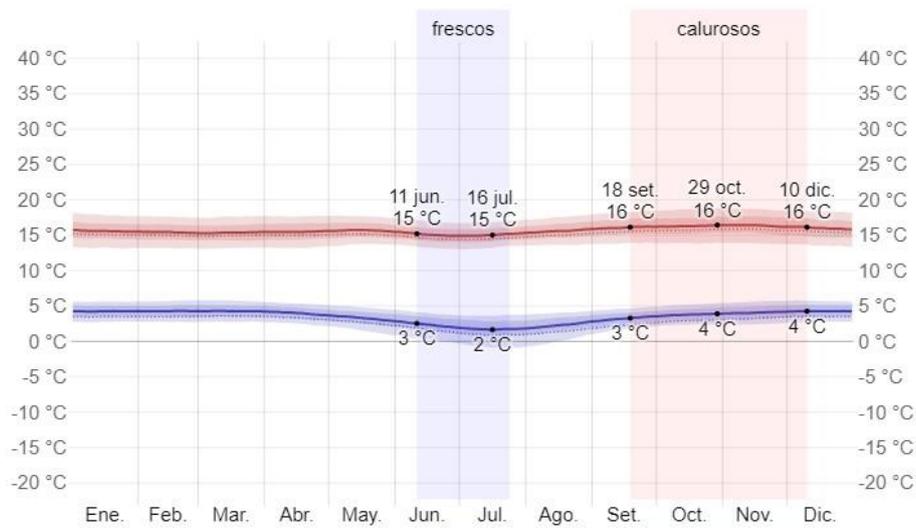
3.1. Diagnóstico y análisis de la situación actual en la zona de estudio

Ante todo, se tiene el porcentaje de viviendas de adobe en Junín. Según el Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI, 2017), se dio a conocer que en el departamento de Junín se ubicaron 125 mil 29 inmuebles con estas características (43,7%).

En la **Figura 2**, se pueden visualizar los registros de temperaturas en el distrito de Cullhuas, la línea roja presenta las temperaturas máximas y las líneas azules presentan las temperaturas mínimas.

Figura 2

Temperatura máxima y mínima promedio en Cullhuas.

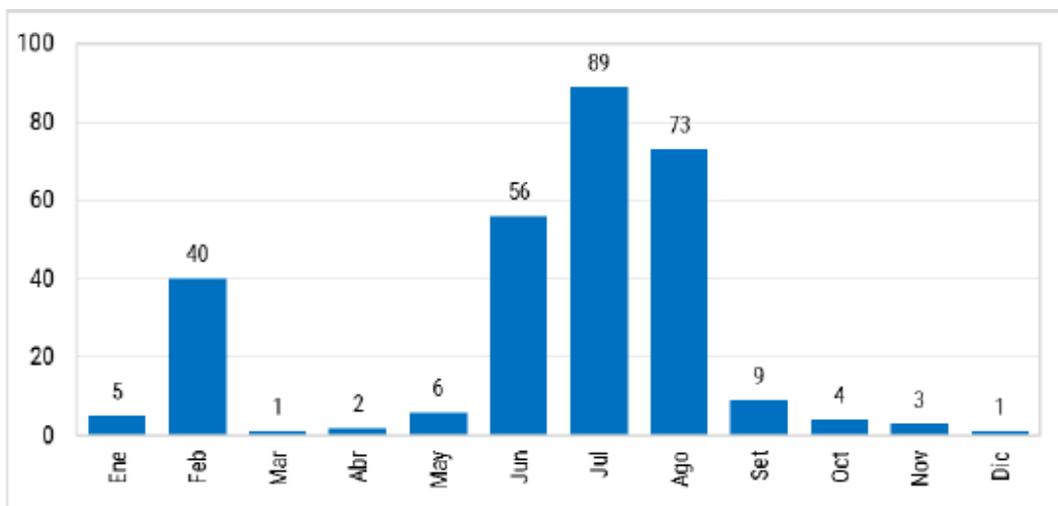


Nota. Esta figura muestra los promedios de temperaturas bajas y frías. Adaptado de “El clima y el tiempo promedio en todo el año en Cullhuas”, por Weather Spark, 2022 (<https://es.weatherspark.com/y/22262/Clima-promedio-en-Cullhuas-Per%C3%BA-durante-todo-el-a%C3%B1o>).

Según CENEPRED (2022), entre los años 2003 – 2022, se registraron 289 eventos de heladas en los meses junio, julio y agosto mayores eventos de heladas, siendo 42 de ellos en la provincia de Huancayo. El detalle de los registros mencionados puede observarse en la **Figura 3** y **Figura 4**.

Figura 3

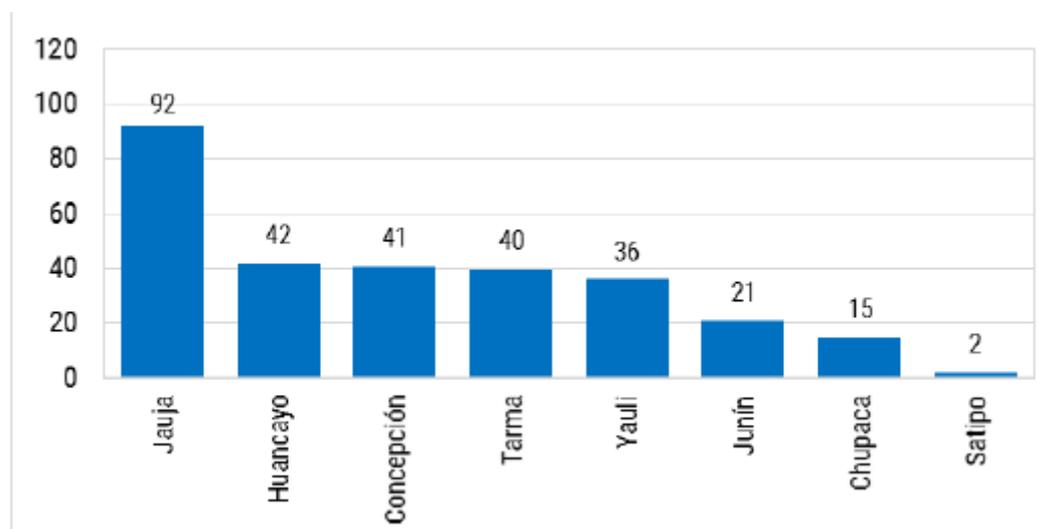
Registro mensual de emergencias por heladas en Junín.



Nota. Adaptado de “Escenarios de riesgo por bajas temperaturas del departamento de Junín”, por CENEPRED, 2022 (<https://www.gob.pe/cenepred>).

Figura 4

Registro mensual de emergencias por heladas según provincias de Junín.



Nota. Adaptado de “Escenarios de riesgo por bajas temperaturas del departamento de Junín”, por CENEPRED, 2022 (<https://www.gob.pe/cenepred>).

Asimismo, se tiene en la **Tabla 1** se muestra la data de la población vulnerable, Según datos obtenidos del CENEPRED, del año 2022 en el distrito Cullhuas.

Tabla 1

Número total de personas vulnerables en el distrito de Cullhuas.

Distrito	Centro poblado	Código del centro poblado	Total	Menor a 5 años	60 años a más	Viviendas	Nivel de exposición
Cullhuas	Cullhuas	1201130001	366	38	78	115	Alto
Cullhuas	Chuamba	1201130002	341	32	56	104	Alto
Cullhuas	Paccha	1201130003	23	0	15	12	Alto
Cullhuas	Pampa Cruz	1201130004	156	14	37	54	Alto
Cullhuas	Vista Mantaro	1201130005	24	3	6	7	Alto
Cullhuas	Azacruz	1201130006	126	12	19	39	Alto
Cullhuas	Santa Rosa de Potaca	1201130007	25	2	5	9	Alto
Cullhuas	San Luis de Retama Alta	1201130008	71	9	22	25	Alto
Cullhuas	San Juan Leon de Retama Bajo	1201130009	30	1	7	10	Alto
Cullhuas	San Juan de Retama Centro	1201130010	11	0	6	6	Alto

Cullhuas	Chacapampa	1201130011	29	0	4	12	Alto
Cullhuas	San Antonio de Pihuas	1201130012	40	2	12	16	Alto
Cullhuas	Ingahuasi	1201130013	10	1	3	5	Alto
Cullhuas	San Pedro de Pihuas	1201130014	51	4	10	16	Alto
Cullhuas	Casabamba	1201130015	32	1	1	11	Alto

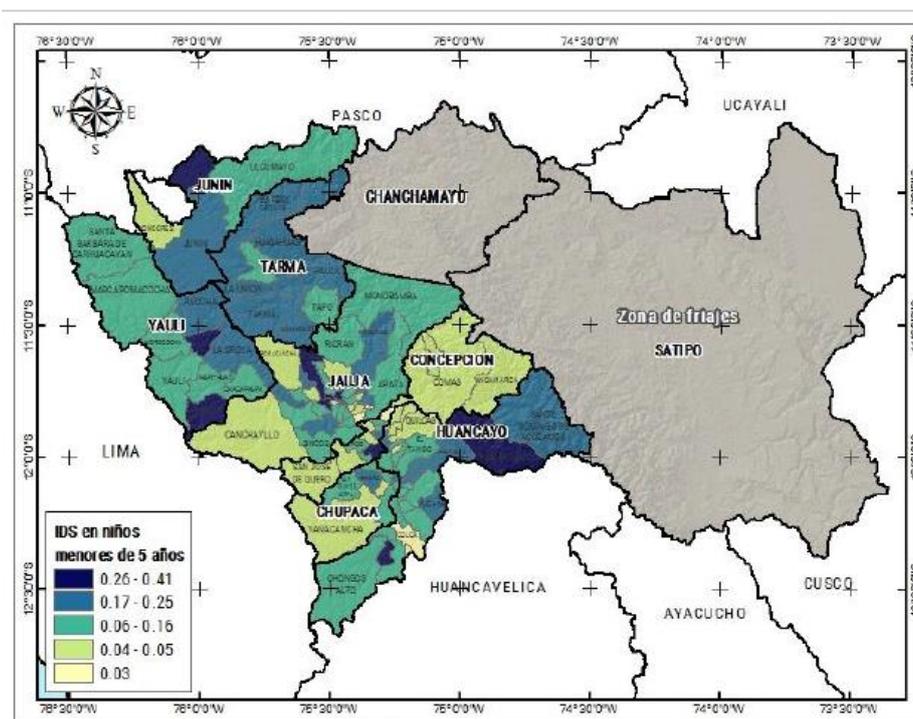
Nota. Esta tabla muestra la cantidad de personas menores de 5 años y personas mayores de 60 años. Adaptado de “Escenarios de riesgo por bajas temperaturas del departamento del departamento de Junín”, por CENEPRED, 2022 (https://sigrid.cenepred.gob.pe/sigridv3/storage/biblioteca//14582_escenario-de-riesgo-por-bajas-temperaturas-del-departamento-de-junin.pdf).

Por un lado, el equipo técnico del Ministerio de Salud (MINSA, 2022) desarrolló la construcción de índices de daños a la salud, respaldado en los siguientes datos epidemiológicos:

- Tasa de incidencia acumuladas de neumonías en menores de 5 años.
- Tasa de infecciones respiratorias agudas, en menores de 5 años.
- Tasa de mortalidad por neumonías, en menores de 5 años.
- Tasa de letalidad por neumonía, en menores de 5 años.

Figura 5

Índice de daños a la salud en menores de 5 años para heladas.



Nota. Adaptado de “Escenarios de riesgo por bajas temperaturas del departamento de Junín”, por CENEPRED, 2022 (<https://www.gob.pe/cenepred>).

En la **Figura 5**, se muestran los índices recurrentes de niños afectados por enfermedades respiratorias según la distribución de las provincias del departamento de Junín.

Por otro lado, en la **Tabla 2** se presenta el número de centros médicos y el detalle de su estad y el nivel de exposición en el que se encuentra en el distrito de Cullhuas.

Tabla 2

Número y estado de establecimientos de salud que hay en el distrito de Cullhuas.

Categoría del establecimiento de salud	Nombre del establecimiento de salud	Institución	Estado	Nivel de exposición
Establecimiento de salud sin internamiento	Pihuas	Gobierno regional	Activo	Alto
Establecimiento de salud sin internamiento	Cullhuas	Gobierno regional	Activo	Alto
Establecimiento de salud sin internamiento	Chuamba	Gobierno regional	Activo	Alto
Establecimiento de salud sin internamiento	Retama baja	Gobierno regional	Activo	Alto

Nota. Adaptado de “Escenarios de riesgo por bajas temperaturas del departamento de Junín”, por CENEPRED, 2022 (<https://www.gob.pe/cenepred>).

3.2. Ensayo del suelo para la elaboración de los bloques con y sin adición del papel reciclado (PPR)

Según la Norma E.080 - Diseño y construcción con tierra reforzada nos indica en anexos que se pueden realizar pruebas a la tierra para saber si es apta para la realización de los bloques de adobe, la prueba que realizamos fue la siguiente (MVCS, 2017).

Prueba “Presencia de arcilla” o Resistencia seca”

Para realizar esta prueba manualmente la norma solicita que se deben formar 4 bolitas con la tierra de la zona estudiada. Se agrega una mínima cantidad de agua a una porción de tierra para activar la plasticidad del suelo que se presume con potencial contenido de arcilla para formar las bolitas. En la **Figura 6** se observa el proceso de formación de la esfera de tierra para dejarla secar y probarla.

Figura 6

Bolita de la tierra de la cantera en el distrito de Cullhuas.



En la **Figura 6** se observa la bolita de tierra formada para el ensayo in situ en estado húmedo posterior a ser formada y dejada a secar por 48 horas.

Figura 7

Muestra de las 4 bolitas de la tierra escogida de la cantera.



En la **Figura 7** se observan las cuatro bolitas de tierra formadas con lo extraído de la cantera elegida. Se espera que después de transcurrir las 48 horas de secado estas puedan resistir a la presión suministrada de forma manual al intentar romperlas. En tanto, los resultados esperados señalan que esta no debe romperse ni agrietarse, de lo contrario se debe volver a realizar el ensayo o elegir otra cantera puesto que no tiene el contenido adecuado de arcilla para adobe.

Figura 8

Muestra de las 4 bolitas después de la presión dada.



En la **Figura 8** se puede apreciar que ninguna de las 4 bolitas se ha agrietado o se ha roto por lo que podemos inferir que la tierra de la cantera escogida es apta para realizar los bloques de adobe por su alto contenido de arcilla que garantiza un comportamiento plástico necesario para la elaboración de adobes.

Prueba de “Cinta de Barro”

La realización de esta prueba para evaluar si la tierra de la cantera seleccionada contiene la cantidad apropiada de arcilla tiene una duración aproximada de 10 minutos. Para su ejecución se elaboraron cilindros de adobe con diámetro de 12 mm, para después reducirlos hasta un diámetro de 4 mm para dejarlos descolgar y tomar registro de la longitud alcanzada. Según la norma que establece los lineamientos señala que dicha longitud debe estar entre 20 cm y 25 cm. Como resultado se obtuvo que la longitud alcanzada en los cilindros elaborados fue de 22 cm, por lo que se puede afirmar que es un suelo muy arcilloso.

3.3. Diseño y elaboración de bloques de adobe con adición de papel reciclado (PPR)

El proceso de diseño y elaboración de bloques de adobe con adición de papel reciclado y sin papel reciclado se inicia luego de obtener la aprobación de la cantera o punto de extracción de la tierra para la elaboración de los bloques de adobe, a través de los ensayos requeridos por la normativa vigente. Para fines de la investigación, la tierra se extrae de una de las canteras disponibles en el distrito de Cullhuas evaluando previamente las características físicas del suelo y las referencias de los pobladores para conocer los puntos más frecuentes de extracción utilizados para la elaboración de bloques para las casas tradicionales. El distrito de Cullhuas es uno de los 28 distritos de la provincia de Huancayo, departamento de Junín, se ubica a 3663 m.s.n.m. y tiene una extensión 108

Km². Se caracteriza por presentar suelos con comportamiento plástico por el alto contenido de arcilla y hierro en su composición, por lo que este tipo de suelo es apropiado para elaborar adobe según los requerimientos de la normativa vigente. Además, es preciso señalar que Cullhuas es un distrito reconocido por la elaboración de bloques de adobe tradicional y tejas para techos de viviendas tradicionales.

Según el MVCS (2017), el adobe es la unidad de tierra cruda, que puede estar mezclada con paja u arena gruesa para mejorar su resistencia y durabilidad. Entonces, los materiales necesarios para elaborar los bloques de adobe son la tierra del lugar, paja, agua y la adición de papel reciclado (PPR). Específicamente, la tierra se extrajo de una de las canteras del distrito de Cullhuas, la paja también se obtuvo del distrito en estudio. Mientras que, el papel reciclado se obtiene a partir del uso de cartones de huevos reciclados, particularmente por su contenido que se compone de 70% de papel reciclado y 30% de cartón, cumpliendo con lo requerido por la metodología del estudio base; y el agua potable empleada es la requerida por la normativa vigente. En la **Tabla 3** se detallan la cantidad de materiales utilizados para la elaboración de los 21 bloques de adobe.

Tabla 3

Cantidad de materiales para elaboración de 21 bloques de adobe.

Cantidad de materiales para elaboración de adobes	
Tierra de Cullhuas	75 Kg
Paja	10 Kg
Papel Reciclado (PPR)	8 Kg
Agua Potable	20 % del peso seco de la tierra

Respecto de la proporcionalidad de la mezcla para elaborar los bloques de adobe se consideró las cantidades empleadas por los autores de la técnica en estudio. Cabe señalar, que a partir de esta cantidad de materiales se elaboraron los grupos definidos en la metodología anteriormente descrita. Así mismo, las medidas de los bloques de adobe se definieron a partir de lo exigido en la Norma E.080 – Diseño y Construcción con Tierra Reforzada (MVCS, 2017). Los principales lineamientos respecto a las medidas de los bloques de adobe son los siguientes:

- Los bloques rectangulares deben tener una relación de 1:2 respecto a su ancho y a su largo respectivamente.

- Los bloques de adobe deben tener un largo máximo de 40 cm en caso de ser cuadrados.
- La altura de los bloques de adobe debe estar entre los 8 cm y 12 cm.

Entonces, para el presente estudio los bloques de adobe tienen las siguientes medidas definidas en la **Tabla 4**.

Tabla 4

Dimensiones de los bloques de adobe.

Dimensiones de bloques de adobe	
Largo	20 cm
Ancho	15 cm
Altura	8 cm

Por otro lado, para el presente estudio los bloques de adobe tradicional tienen las siguientes medidas definidas en la **Tabla 5**:

Tabla 5

Grupos de control para análisis de bloques de adobe.

Dimensiones de bloques de adobe	
Largo	19 cm
Ancho	9 cm
Altura	8 cm

El objeto de la presente investigación se basa en determinar si la adición de papel reciclado (PPR) en la mezcla del adobe durante la etapa de elaboración logra reducir la conductividad térmica y como consecuencia mejora el confort térmico en las viviendas de este material, para de esa forma encontrar una respuesta efectiva y sostenida en el tiempo para enfrentar las bajas temperaturas que se presentan en los meses de invierno en el distrito de Cullhuas, Junín. Entonces, para establecer la efectividad se han definido cuatro grupos de adobe con características particulares. La **Tabla 6** detalla las características de cada uno de los cuatro grupos definidos para ser estudiados.

Tabla 6

Resultados del ensayo de conductividad térmica.

Grupos de bloques de adobe	
Grupo 1	Está conformado por 6 bloques de adobe elaborados de manera tradicional según el procedimiento seguido en el distrito de Cullhuas y no considerando la Norma E.080.
Grupo 2	Está conformado por 7 bloques de adobe elaborados según los requerimientos de la Norma E.080 y no lleva ninguna adición de papel reciclado (PPR).
Grupo 3	Está conformado por 7 bloques de adobe elaborados según los requerimientos de la Norma E.080 y lleva una adición de papel reciclado (PPR) del 7.5%.
Grupo 4	Está conformado por 7 bloques de adobe elaborados según los requerimientos de la Norma E.080 y lleva una adición de papel reciclado (PPR) del 12.5%.

Si bien es cierto, la presente investigación se orienta a estudiar la influencia de la adición del papel reciclado en el comportamiento térmico de los bloques de adobe, sin embargo, se debe garantizar que estos bloques son sísmicamente aceptables, es decir deben cumplir con los requisitos básicos establecidos en la normativa vigente, la Norma E.080 – Diseño y Construcción con Tierra Reforzada por MVCS (2017), que establece que los bloques de adobe deben ser sometidos a ensayos de compresión como mínimo y deben cumplir los criterios establecidos. En consecuencia, los bloques que conforman cada grupo serán ensayados mediante pruebas destructivas y no destructivas. La prueba destructiva será la resistencia a la compresión y el ensayo no destructivo será la prueba de conductividad térmica. El fundamento para realizar los ensayos de resistencia por compresión es determinar que los bloques tengan un comportamiento sísmico aceptable, para que puedan soportar las fuerzas sísmicas y no presentar fallas frágiles ante eventos de esta naturaleza. Por otro lado, la fundamentación para realizar el ensayo de conductividad térmica es determinar si al aplicar los residuos de papel (PPR) se logra reducir la conductividad tradicional del adobe, dicha propiedad mide la capacidad con la que el calor fluye de un medio a otro, esta capacidad es una característica del adobe, sin embargo, se espera una reducción del 30% luego de aplicar esta técnica en el proceso de elaboración de los bloques de adobe.

3.3.1. Procedimiento de elaboración de los bloques de adobe

El proceso de elaboración de los bloques de adobe para cada grupo se caracteriza por su similitud, pero presenta diferencia en el suministro de las cantidades de materiales. Es preciso señalar que el procedimiento sigue las exigencias de la Norma E.080 – Diseño y Construcción de Tierra Reforzada (MVCS, 2017). Entonces, el proceso seguido para la elaboración de los bloques se detalla a continuación:

1. Se inicia el proceso de cernido de la tierra para eliminar impurezas que puedan alterar la resistencia de los bloques de adobe. Además, luego de cernir la tierra traída desde Cullhuas, esta debe ser hidratada 48 horas antes de la preparación del barro.
2. Luego, se deben preparar los moldes, hechos de fenólicos para una mejor trabajabilidad, con las medidas definidas previamente, que son 20x15x8 cm, deben ser ajustadas con dichas dimensiones. Así mismo, se procede al cortado de la paja en dimensiones menores a las de los bloques para un mejor acomodamiento en los moldes y el acondicionamiento de los residuos de papel en trozos de aproximadamente 3 a 5 cm de longitud y ser humedecidos parcialmente.
3. Después de tener los materiales pesados y preparados para ser mezclados, se debe extender una capa de plástico que evite el contacto directo entre los bloques y el suelo, puesto que es una exigencia de la Norma E.080 evitar el contacto del bloque de adobe fresco con las superficies como tierra, roca o césped. Esta superficie debe estar libre de polvo y otros agentes contaminantes.
4. Luego, se debe mezclar la tierra y la paja sobre la superficie de plástico para después ir agregando el agua hasta lograr una mezcla trabajable y lograr activar la plasticidad característica de la arcilla, componente predominante de la tierra, y permita que las partículas de la tierra se ligen a la paja. En el caso de los grupos de adobes con adición de papel reciclado (PPR), esta adición debe ser agregada a la mezcla previamente humedecida y en una proporción del 7.5% y 12.5% del volumen del bloque.
5. Una vez preparada la mezcla del adobe y alcanzada la trabajabilidad necesaria, se deben llenar los bloques y a golpear ligeramente los bordes del molde para un adecuado acomodamiento de la mezcla y debe ser llenado hasta la superficie para emparejar la superficie expuesta.

6. Luego de llenar el molde, se debe levantar lentamente para desmoldar el bloque de adobe sobre la superficie de plástico y acomodarlos según el grupo al que pertenecen. Es necesario, en esta etapa asegurarnos que no se presenten deformidades en la forma de los bloques, en caso de presentarlas se debe repetir el proceso de llenado y desmoldamiento.
7. Finalmente, los grupos ubicados sobre la superficie de adobe deben protegidos del sol, para este fin se ubican debajo de un techo que también los protege de las posibles lloviznas. Entonces, durante el proceso de secado debe verificarse la generación de fisuras y la alteración con contaminantes como el polvo. El proceso de secado está previsto para un tiempo de 28 días.

3.3.2. Control de proceso de secado de los bloques de adobe

El proceso de elaboración del adobe se puede establecer en dos momentos o hitos significativos para obtener bloques apropiados y sobre todo que respeten los lineamientos básicos de la actual normativa para construcción con tierra reforzada. Entonces, estos hitos son la elaboración de los bloques y el control de secado de estos. El primer hito se ha definido en las secciones anteriores y el segundo se desarrolla en un plazo mínimo de 28 días o un mes para poder usarlos como unidades de albañilería. Así mismo, los bloques deben ser cambiados de posición entre cada 5 y 7 días como parte de un adecuado proceso de secado. Además, se deben cuidar de agentes ambientales como el sol o la generación de polvo que puedan contaminar los bloques. Para fines de la investigación el control se realiza al término de cada semana y el cambio de posición de los bloques cada 5 días.

Primera semana de secado

Según indica la norma peruana E.080 – Diseño y Construcción con Tierra Reforzada, el tiempo de secado mínimo para los bloques de adobe es de cuatro semanas en donde llega a desarrollar la resistencia requerida y puede ser considerado para construir viviendas. Entonces, se realizó un control progresivo para registrar el estado de los bloques. En la **Figura 9** se puede observar el estado de los bloques de adobe luego de culminar la primera semana de secado.

Figura 9

Estado de los grupos de adobes formados según las proporciones mencionadas.



En el control de secado se ha podido observar que los bloques elaborados sin la inclusión del papel reciclado presentan la aparición de fisuras propias del secado, sin embargo, en los bloques elaborados con la inclusión del papel reciclado la aparición de fisuras es notablemente menor que en el primer caso. Además, se observa que a mayor porcentaje de inclusión de papel reciclado (PPR) se generan menos fisuras en la superficie de los bloques. La aparición de las fisuras en los bloques sin adición de papel reciclado se puede visualizar en la **Figura 10**.

Figura 10

Bloque de adobe por la norma E0.80, parte frontal.



Se infiere que la razón por la que los bloques con adición de papel reciclado (PPR) presentan menos fisuras durante la primera semana de secado es porque el papel reciclado presenta un comportamiento fibroso, lo que permite una mejor respuesta durante la dilatación y contracción por variación de temperatura. En la **Figura 11** se observa las diferencias notables en la formación de fisuras. Es necesario precisar que, la formación de fisuras durante el proceso de secado es inevitable y natural. Sin embargo, cuando estas superan o predominan en la superficie de los bloques la resistencia se reduce, lo que impide llegar a la resistencia mínima requerida.

Figura 11

Estado de los grupos de adobes formados según las proporciones mencionadas.



En la **Figura 12**, se verifica el cumplimiento del control de secado luego de finalizada la primera semana de secado con las primeras observaciones de la aparición de fisuras con mayor notoriedad en los bloques que no llevan la adición de papel reciclado PPR. Así mismo, de mantener limpio la zona de almacenamiento y el posterior volteado de los bloques.

Figura 12

Volteado de bloques de adobe luego de finalizar la semana 1 de secado.



Segunda semana de secado

Según indica la norma peruana E.080 – Diseño y Construcción con Tierra Reforzada por MVCS (2017), el tiempo de secado mínimo para los bloques de adobe es de cuatro semanas en donde llega a desarrollar la resistencia requerida y puede ser considerado para construir viviendas. Entonces, se realizó un control progresivo para registrar el estado de los bloques. En la **Figura 13** se puede observar el estado de los bloques de adobe luego de culminar la segunda semana de secado.

Figura 13

Estado de los grupos de adobes formados según las proporciones mencionadas al finalizar la segunda semana de secado.



En el control de secado se ha podido observar que los bloques elaborados sin la inclusión del papel reciclado presentan la aparición de fisuras propias del secado, sin embargo, en los bloques elaborados con la inclusión del papel reciclado la aparición de fisuras es

notablemente menor que en el primer caso. Además, se observa que a mayor porcentaje de inclusión de papel reciclado (PPR) se generan menos fisuras en la superficie de los bloques. La aparición de las fisuras en los bloques sin adición de papel reciclado se puede visualizar en la **Figura 14**.

Figura 14

Tendencia constante en el control de generación de fisuras entre bloque con adición de PPR y sin adición de PPR.



En la **Figura 15**, se verifica el cumplimiento del control de secado luego de finalizada la segunda semana se secado con las primeras observaciones de la aparición de fisuras con mayor notoriedad en los bloques que no llevan la adición de papel reciclado PPR. Así mismo, de mantener limpio la zona de almacenamiento y el posterior volteado de los bloques.

Figura 15

Bloque de adobe sin adición de papel reciclado con fisuras notables.



Tercera semana de secado

Según indica la norma peruana E.080 – Diseño y Construcción con Tierra Reforzada por MVCS (2017), el tiempo de secado mínimo para los bloques de adobe es de cuatro semanas en donde llega a desarrollar la resistencia requerida y puede ser considerado para construir viviendas. Entonces, se realizó un control progresivo para registrar el estado de los bloques. En la **Figura 16** se puede observar el estado de los bloques de adobe luego de culminar la tercera semana de secado.

Figura 16

Estado de los grupos de adobes formados según las proporciones mencionadas al finalizar la tercera semana de secado.



En el control de secado se ha podido observar que los bloques elaborados sin la inclusión del papel reciclado presentan la aparición de fisuras propias del secado, sin embargo, en los bloques elaborados con la inclusión del papel reciclado la aparición de fisuras es notablemente menor que en el primer caso. Además, se observa que a mayor porcentaje de inclusión de papel reciclado (PPR) se generan menos fisuras en la superficie de los bloques. La aparición de las fisuras en los bloques sin adición de papel reciclado se puede visualizar en la **Figura 17**.

Figura 17

Bloques de abobe por la norma E080 sin adición de PPR de vista frontal, con fisuras notables.



En la **Figura 18**, se verifica el cumplimiento del control de secado luego de finalizada la tercera semana se secado con las primeras observaciones de la aparición de fisuras con mayor notoriedad en los bloques que no llevan la adición de papel reciclado PPR. Así mismo, de mantener limpio la zona de almacenamiento y el posterior volteado de los bloques.

Figura 18

Bloques de abobe por la norma E080 con adición de PPR de vista frontal, sin fisuras.



Cuarta semana de secado

Al finalizar la cuarta semana de secado, es decir después de 28 días posterior a la elaboración sugeridos por la Norma E.080 por MVCS (2017), los adobes se encuentran en condiciones de poder ser utilizados como unidades de albañilería y conformar un muro. Es así como, al finalizar este periodo se culmina con observaciones considerables como la aparición de fisuras en la superficie de los bloques sin adición respecto a los bloques que si han sido elaborados con papel reciclado en su composición. Cabe señalar que, esta mejora en cuanto al control de fisuras brinda indicios de un buen comportamiento del bloque y por lo tanto se espera que tenga un mejor rendimiento funcionando en conjunto.

Figura 19

Estado de los grupos de adobes formados según las proporciones mencionadas al finalizar la cuarta semana de secado



En la **Figura 19**, es posible observar el estado de los bloques de adobe luego de culminar el proceso de secado. Es necesario resaltar que el control de este proceso ha sido constante y se han registrado las incidencias más notables como la pérdida de humedad y la aparición de fisuras.

Figura 20

Elaboración de los bloques de adobe con la adición del papel reciclado.



Figura 21

Bloques de adobe por la norma E080 con adición de PPR de vista frontal, sin fisuras



En las **Figuras 20 y 21**, se observa que la tendencia al control de fisuración de los bloques con la adición de papel reciclado PPR ha sido constante puesto que según la observación visual estas son considerablemente menores que las fisuras de los bloques sin adición de PPR.

3.3.3. Proceso de elaboración del adobe tradicional en el distrito de Cullhuas

En la metodología propuesta para este estudio se precisó el control de cuatro grupos de adobe. En tal sentido, el primer grupo de adobes se elaboró en el distrito de Cullhuas y se siguió estrictamente el proceso que han seguido tradicionalmente, desde la utilización de

los materiales hasta el proceso e incluso la recopilación de información acerca de materiales que pueden mejorar el desempeño del adobe que ha sido utilizado por los lugareños del distrito. A continuación, se presenta la entrevista a un maestro de construcción de viviendas de adobe del distrito de Cullhuas (Carlos Rementeria Espinoza, 41 años, comunicación personal, octubre de 2023).

El maestro entrevistado comenta que la construcción de viviendas de adobe se basa en su práctica y la experiencia que tiene; y que es una tradición ya que la enseñanza viene de su abuelo, padre; no tuvieron una enseñanza profesional. Con respecto al uso de vivienda de adobe, en zonas alejadas de la carretera todavía se mantiene la construcción de estas edificaciones, así como también algunos lugares no apartados se siguen construyendo con casas de adobe y tapial. Los materiales tradicionales para la fabricación de los bloques de adobe son la arcilla (tierra roja), paja y agua. Respecto al procedimiento de elaboración de los bloques de adobe de manera tradicional explicó que un día antes se humedece la tierra con agua y al día siguiente se pica y se mezcla con tiras de paja de 4 o 5 cm, luego se coloca en el molde. Luego, se coloca en el molde de madera de 15x20x10 cm y se deja secar por una semana. Por último, se asientan los bloques de adobe con barro y paja. Así mismo, como parte ya del proceso constructivo, el maestro entrevistado comentó que para reforzar las viviendas de adobe realizan un amarre en las esquinas en los encuentros de muros de adobe colocan un pino o un ciprés, así evitan rajaduras. Respecto al tiempo de secado, los lugareños emplean periodos de una o dos semanas tradicionalmente, y el volteo y cambio de posición de los bloques es cada dos días. Además, el maestro refuerza la idea de que las viviendas de adobe y tapial pueden almacenar mejor el calor durante el día y que la mejor tierra para elaboración de adobes es la tierra roja, característica de distrito de Cullhuas.

3.4. Realización de ensayos por compresión y conductividad a los bloques de adobe

La etapa posterior a la elaboración y secado de los bloques de adobe es la realización de los ensayos destructivos y no destructivos para analizar la influencia de la adición de papel reciclado (PPR) en la mezcla de adobe. La prueba o ensayo no destructivo necesario para este estudio es por conductividad térmica, que consiste en la aplicación de un flujo de calor y evaluar la capacidad de fluir a través del espesor del material para determinar el coeficiente de conductividad térmica. Por otro lado, el ensayo destructivo de resistencia por compresión se realiza para verificar que los bloques de adobe alcancen la resistencia mínima requerida por la Norma E.080, diseño y construcción con tierra reforzada, y

además que la adición del papel reciclado no afecte negativamente la resistencia por compresión y en consecuencia el desempeño sísmico de los bloques de adobe.

3.4.1. Ensayo de conductividad térmica de bloques de adobe

Para analizar la eficiencia de la técnica de la presente investigación, se deben someter los adobes elaborados a pruebas de conductividad térmica. Es posible definir que la conductividad térmica mide la capacidad de transferir energía térmica en forma de calor de un material al someterlo a una gradiente de temperatura. Los resultados de conductividad se expresan en Vatios por Metro Kelvin (W/mK) y su interpretación indica que mientras el valor de coeficiente sea más cercano al cero el material es un mejor aislante térmico porque el calor viaja con mayor dificultad a través de su espesor, por lo tanto, este se pierde en un mayor intervalo de tiempo. Para el desarrollo de las pruebas de conductividad térmica, se empleó un medidor portátil de modelo TLS-100 THERMTEST, que es un equipo con capacidad de medir la conductividad térmica de diversos materiales con una alta precisión.

3.4.1.1. Equipo THERMTEST TLS-100

Es un medidor portátil que tiene la capacidad de medir la conductividad y resistencia térmica de múltiples muestras como suelos, rocas, hormigón y polímeros. El modo de medición se realiza en un intervalo aproximado de tres minutos mediante la lectura que realiza el sensor del equipo previamente calibrado. A continuación, en la **Tabla 7** se presenta la descripción del equipo y los estándares que certifican la validez para estimar los coeficientes de conductividad térmica. Es necesario señalar que, los bloques de adobe que han pasado por las pruebas de conductividad térmica son los bloques elaborados según la normativa vigente sin adición, con adición del 7.5% y con adición del 12.5%. Además, que el equipo utilizado y el procedimiento del ensayo se rige bajo normativas como ASTM D5334-14 y IEEE 442-1981.

Tabla 7

Características del equipo medidor de conductividad térmica THERMTEST TLS-100

Características del equipo TLS-100 THERMTEST	
Rango de conductividad térmica	0.1 – 5 W/m.K
Rango de resistividad térmica	0.2 – 10 m.K/W
Tiempo de medición	3 minutos
Reproducibilidad	2%
Precisión	5%

3.4.1.2. Resultados de las pruebas de conductividad térmica

El modo de medición de la conductividad térmica de los bloques de adobe con y sin adición de papel reciclado (PPR) se realiza a través del equipo portátil por periodos de 180 segundos o 3 minutos. Se debe enfatizar que existe una reducción del coeficiente de conductividad y un incremento de los valores de la resistividad térmica a medida que se incrementa la concentración de papel reciclado. En la **Tabla 8** se puede verificar los resultados obtenidos después de someter los bloques de adobe a las pruebas de conductividad.

Tabla 8

Densidad de cada muestra, Conductividad y Resistividad térmicas del ensayo de conductividad térmica

Tipo de bloque	Densidad (kg/m ³)	Conductividad Térmica (W/mK)	Resistividad térmica (m °K/W)
Adobe por la E.080	1551.73	0.8	1.25
Adobe +7,5% papel de reciclado	1465.52	0.69	1.45
Adobe +12,5% papel de reciclado	1250	0.457	2.186

Nota. En la tabla se muestra los datos obtenidos por el ensayo de conductividad térmica de cada muestra.

3.4.2. Ensayos de resistencia por compresión de bloques de adobe

Como parte del análisis se definió la necesidad de ensayos destructivos para determinar si los bloques de adobe alcanzan la resistencia por carga última mínima requerida según la Norma E.080, que se sitúa en un valor 10.2 Kg/cm², y estudiar la influencia de la adición del papel reciclado PPR en la mezcla para elaborar adobes. Estos ensayos fueron realizados a los cuatro grupos de adobes, debido a que las pruebas de resistencia por compresión de los bloques de adobe tradicional sirven como una referencia de la resistencia promedio que alcanzan los adobes elaborados en el distrito en estudio. Es así que, el mismo tipo de ensayo se realizará para los tres grupos siguientes mediante un equipo de compresión automático para concreto, cubos, unidades de mampostería,

ladrillos, entre otros; con el objetivo de analizar si existen variaciones positivas o negativas en cuanto a la resistencia por compresión.

3.4.2.1. Equipo de compresión uniaxial ELE – INTERNATIONAL

El equipo utilizado para los ensayos de resistencia por compresión es una máquina de ensayo uniaxial de la marca ELE – INTERNATIONAL, de tipo automático y digital que tiene una capacidad máxima de 2200 KN y cuenta con una resolución de 0.1 KN. Es utilizado para ensayos de compresión de muestras de concreto, ladrillos, unidades de mampostería, entre otros. Así mismo, es un equipo previamente certificado y calibrado con fecha del mes de febrero.

3.4.2.2. Resultados de ensayos por compresión de bloques de adobe

Los ensayos de resistencia por compresión se realizaron con un equipo para ensayos por compresión de muestras como concreto, unidades de mampostería y ladrillos. Los parámetros de evaluación como velocidad de carga han sido los mínimos por tratarse de un material arcilloso que tiene un comportamiento distinto al del concreto. Así mismo, el control de falla debe ser constante para obtener resultados fiables y consistentes. Entonces, se obtienen los resultados del primer grupo de bloques de adobe que se muestran en la **Tabla 9**, en donde se obtiene una resistencia por compresión promedio de 15.5 Kg/cm².

Tabla 9

Resultados del ensayo por compresión del primer grupo de bloques de adobe tradicional

Resistencia por compresión de bloques de adobe		
Tipo de bloque de adobe	Sección cm²	Resistencia Kg/cm²
Bloque tradicional A-101 (medidas 19x9x8cm)	171	14
Bloque tradicional A-104 (medidas 19x9x8cm)	171	17
Bloque tradicional A-105 (medidas 19x9x8cm)	171	16
Bloque tradicional A-106 (medidas 19x9x8cm)	171	15

Luego de ensayado el primer grupo, se continua con los siguientes bloques de adobe y se obtienen los mejores 4 resultados de resistencia por compresión del segundo grupo mostrados en la **Tabla 10**, se tiene un promedio de 15.5 kg/cm².

Tabla 10

Resultados del ensayo por compresión del segundo grupo de bloques de adobe por la norma E-0.80

Resistencia por compresión de bloques de adobe		
Tipo de bloque de adobe	Sección cm²	Resistencia Kg/cm²
Bloque por E-0.80 A-102 (medidas 20x14.5x8cm)	290	16
Bloque por E-0.80 A-104 (medidas 20x14.5x8cm)	290	14
Bloque por E-0.80 A-105 (medidas 20x14.5x8cm)	290	17
Bloque por E-0.80 A-106 (medidas 20x14.5x8cm)	290	15

La continuación de la ejecución de los ensayos de resistencia por compresión corresponde al sometimiento de los bloques que corresponden al tercer grupo, que tiene las características particulares de haber sido elaborados según lo sugerido por la norma vigente y contar con la adición de 7.5% de papel reciclado (PPR). Se presenta la **Tabla 11** con los resultados de los ensayos que tienen un valor promedio de 15.0 kg/cm².

Tabla 11

Resultados del ensayo por compresión del 3er grupo de bloques de adobe con la adición del 7,5% de papel reciclado

Resistencia por compresión de bloques de adobe		
Tipo de bloque de adobe	Sección cm²	Resistencia Kg/cm²
Bloque E-0.80 con 7,5% de papel reciclado A-101 (medidas 20x14.5x8cm)	289.08	14
Bloque E-0.80 con 7,5% de papel reciclado A-102 (medidas 20x14.5x8cm)	286.16	14
Bloque E-0.80 con 7,5% de papel reciclado A-103 (medidas 20x14.5x8cm)	287.1	14
Bloque E-0.80 con 7,5% de papel reciclado A-104 (medidas 20x14.5x8cm)	285.12	15
Bloque E-0.80 con 7,5% de papel reciclado A-105 (medidas 20x14.5x8cm)	185.12	16
Bloque E-0.80 con 7,5% de papel reciclado A-106 (medidas 20x14.5x8cm)	174.06	17

Finalmente, se evaluó el cuarto grupo de bloques de adobe en las pruebas de resistencia por compresión, las particularidades de este grupo es que son bloques elaborados según Norma E.080 y con 12.5% de adición de papel reciclado (PPR). La **Tabla 12** presenta los resultados obtenidos de dichos ensayos que alcanzan una resistencia promedio de 16.0 Kg/cm².

Tabla 12

Resultados del ensayo por compresión del 4to grupo de bloques de adobe con la adición del 12,5% de papel reciclado

Resistencia por compresión de bloques de adobe		
Tipo de bloque de adobe	Sección cm²	Resistencia Kg/cm²
Bloque E-0.80 con 12,5% de papel reciclado A-101 (medidas 20x14.5x8 cm)	290	16
Bloque E-0.80 con 12,5% de papel reciclado A-102 (medidas 20x14.5x8 cm)	290	16
Bloque E-0.80 con 12,5% de papel reciclado A-103 (medidas 20x14.5x8 cm)	283	15
Bloque E-0.80 con 12,5% de papel reciclado A-104 (medidas 20x14.5x8 cm)	287	17
Bloque E-0.80 con 12,5% de papel reciclado A-105 (medidas 20x14.5x8 cm)	279	16
Bloque E-0.80 con 12,5% de papel reciclado A-106 (medidas 20x14.5x8 cm)	277	17
Bloque E-0.80 con 12,5% de papel reciclado A-107 (medidas 20x14.5x8 cm)	288	16
Bloque E-0.80 con 12,5% de papel reciclado A-108 (medidas 20x14.5x8 cm)	286	15

Entonces, a partir de los resultados promedios registrados en cada grupo de bloques evaluados se presenta la **Tabla 13** con dichos valores. Estos resultados demuestran que los grupos de control evaluados respecto al primer grupo de control no solo mantienen la resistencia por compresión superior a lo requerido por la Norma E.080, carga última de 10.2 Kg/cm², sino que esta ligeramente por encima de los valores obtenidos en el grupo de adobes tradicionales, a pesar de reducirse notablemente el peso de los bloques, es decir se obtienen bloques más ligeros que mantienen su resistencia por compresión. Es así que, el grupo de adobes que ha tenido mejor desempeño y a su vez más constante es el grupo con adición de 12.5% de papel reciclado (PPR).

Tabla 13

Cuadro resumen de la resistencia por compresión de cada grupo

Tipo de bloques de adobe	Resistencia Kg/cm²
Bloque tradicional (medidas 19x9x8 cm)	15.5
Bloque E 0.80 (medidas 20x14.5x8 cm)	15.5
Bloque E-0.80 con 7,5% de papel reciclado (medidas 20x14.5x8 cm)	15
Bloque E-0.80 con 12,5% de papel reciclado (medidas 20x14.5x8 cm)	16

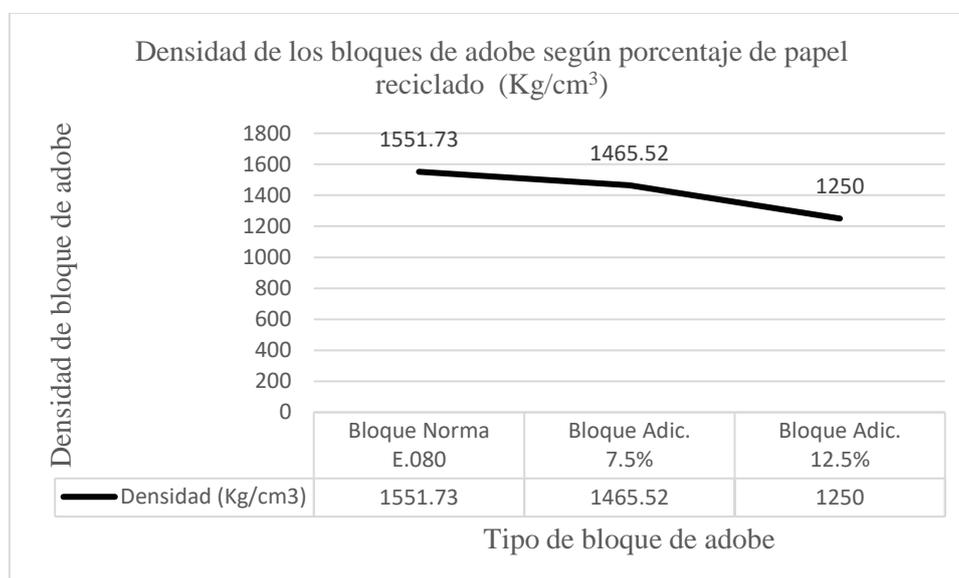
3.5. Análisis y comparación de resultados de ensayos de conductividad y resistencia

3.5.1. Análisis y comparación de resultados de ensayos de conductividad térmica

De acuerdo con las pruebas de conductividad térmica realizadas a los bloques de adobe de los grupos dos, tres y cuatro es posible ver notorias mejoras en tres características de los bloques de adobe, en primer lugar la reducción de la densidad de los bloques puesto que para el bloque de adobe elaborado según la Norma E.080 y sin adición tiene una densidad de 1551.73 Kg/cm³, en segundo lugar el bloque de adobe normado y con adición del 7.5% de papel reciclado tiene una densidad de 1465.52 Kg/cm³ y finalmente el tercer bloque de adobe normado con adición de 12.5% de papel reciclado presenta una densidad de 1250 Kg/cm³. Entonces se puede observar una reducción en su densidad, por lo tanto, la obtención de bloques más ligeros, esto aporta puesto que uno de los mayores problemas de los bloques de adobe que por su peso tienden a ser afectados considerablemente por los sismos, sin embargo, se alcanza a una reducción del 19.4% entre el bloque con 12.5% de adición respecto al bloque sin adición. En la **Figura 22** se puede observar la disminución progresiva de acuerdo con mayor porcentaje de papel reciclado (PPR).

Figura 22

Cuadro de densidad según el tipo de bloque de adobe

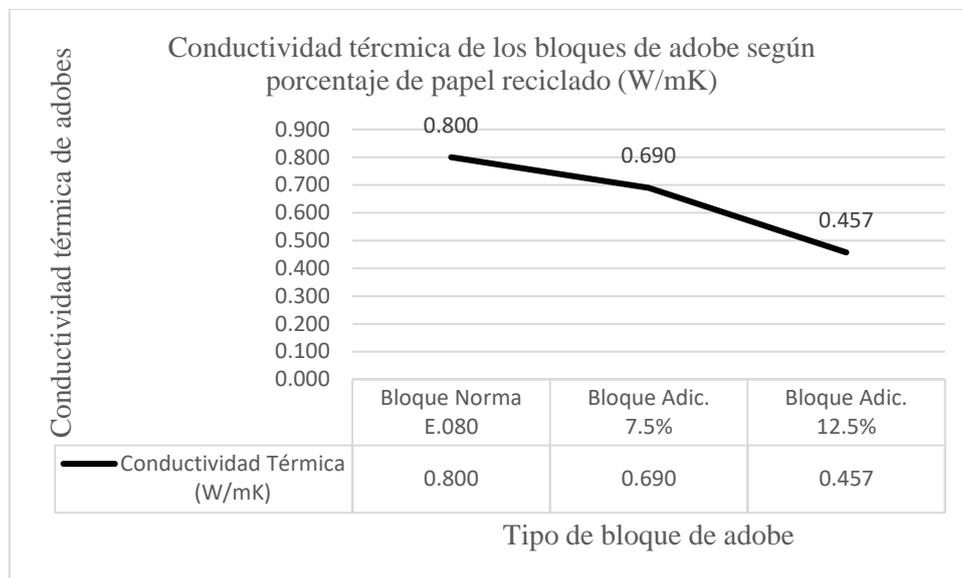


La segunda mejora observada con la adición de papel reciclado (PPR), y la más importante, es la reducción del coeficiente de conductividad térmica. Se ha encontrado que existe una relación inversamente proporcional entre el coeficiente de conductividad térmica y el porcentaje de papel reciclado (PPR) adicionado, es decir se observa que, a mayor porcentaje de papel reciclado en la mezcla de los bloques, el coeficiente de

conductividad térmica se reduce. En tal sentido, entre el bloque sin adición de papel reciclado y el bloque con adición del 7.5% se obtiene una reducción del 13.75% en su coeficiente de conductividad térmica. Mientras que, entre el bloque sin adición y el bloque con adición del 12.5% la aplicación de papel reciclado en la elaboración de los bloques logra alcanzar 42.9% del coeficiente de conductividad térmica al reducirse de un coeficiente de 0.800 W/mK hasta un valor de 0.457 W/mK. En la **Figura 23** se observa la reducción del coeficiente de conductividad térmica en los tres bloques evaluados, lo que logra superar lo esperado en la hipótesis del presente estudio.

Figura 23

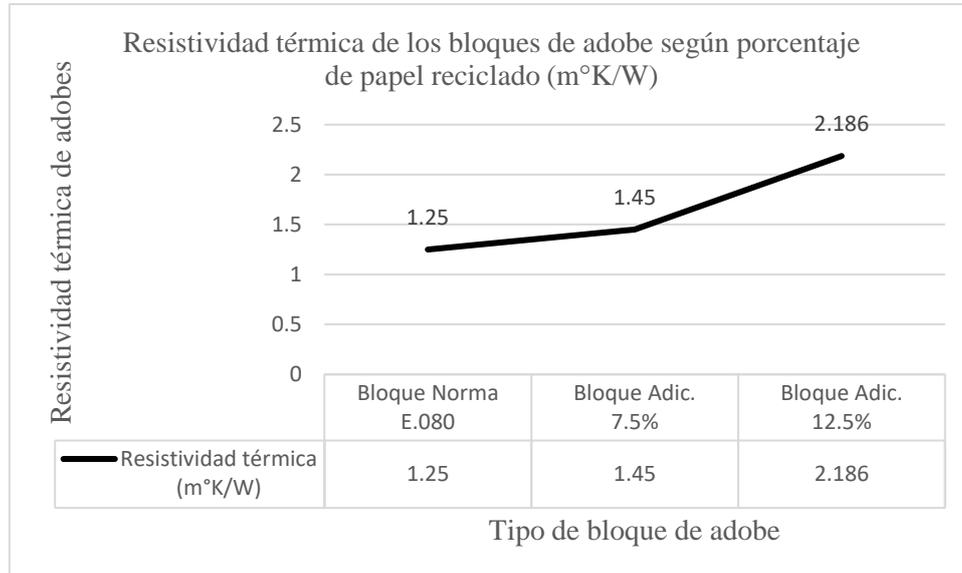
Cuadro de conductividad térmica según el tipo de bloque de adobe



La tercera mejora alcanzada con la adición del papel reciclado en los bloques de adobe es el incremento de la resistividad térmica, esta magnitud describe la propiedad física de manera cuantitativa con la que un material se opone a la transmisión del calor a través de su espesor. Entonces, se observa en la **Figura 24** que a mayor porcentaje de papel reciclado logra incrementar la capacidad del bloque a oponerse a la transmisión del calor a través de su espesor. Es así como, el incremento de la resistividad térmica entre el adobe sin adición y el adobe con adición de 7.5% se sitúa en un 16%, mientras que la adición del papel reciclado en un porcentaje del 12.5% en la mezcla de los adobes logró alcanzar una mejora de la resistividad térmica del 75%. Esto indica que los bloques con el 12.5% logran mejorar notablemente la resistividad térmica de los bloques de adobe.

Figura 24

Cuadro de resistividad térmica según el tipo de bloque de adobe.



3.5.2. Análisis y comparación de resultados de ensayos de resistencia por compresión

Los resultados de los ensayos de resistencia por compresión realizados a los cuatro grupos de adobe han mostrado un comportamiento constante respecto a la resistencia alcanzada. Así mismo, como se ha mostrado anteriormente todos los bloques ensayados logran superar la carga última exigida por la Norma E.080, Diseño y Construcción con Tierra Reforzada, que es de 10.2 Kg/cm² por tal razón cumple con la resistencia mínima requerida. También, es posible señalar observaciones resaltantes como la mejora en la resistencia por compresión del adobe con 12.5% de adición de papel reciclado respecto a la resistencia por compresión de los bloques que no presentan adición en un 10%, puesto que de 15 Kg/cm² se logra alcanzar un 16.5%. Así también, esta adición redujo el peso de los bloques de adobe hasta en un 25.5%, puesto que los bloques de adobe sin adición y con los materiales convencionales tienen un peso de 3.815 Kg, mientras que el peso de los bloques de adobe con 12.5% de adición es de 2.841 Kg. En la **Tabla 13** se puede verificar que las resistencias obtenidas están por encima del peso solicitado por el reglamento vigente y que la adición de tal porcentaje mejora en un 10% dicha resistencia. Mientras que en la **Figura 25** se observa la reducción del peso logrado al agregar el papel reciclado en la mezcla de los adobes.

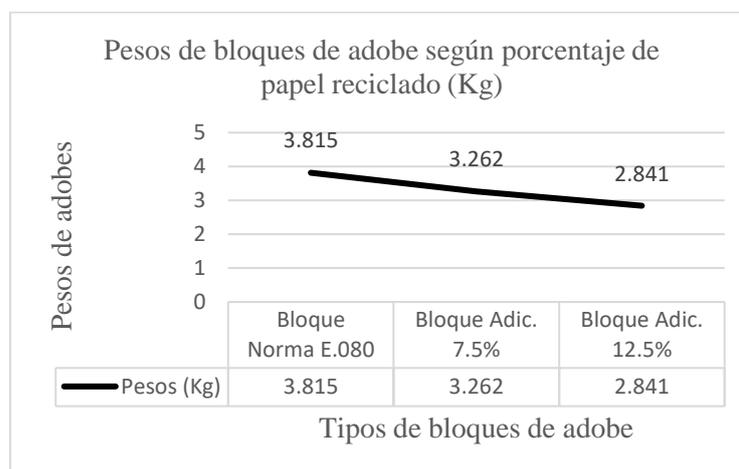
Tabla 13

Cuadro comparativo de resultados por compresión respecto a la Norma E.080

Comparación de resultados de resistencia por compresión de bloques de adobe			
Tipo de bloque	Carga última E.080	Res. por Compresión	Estado
Bloque Tradicional		15.5 Kg/cm ²	Cumple
Bloque Norma E.080	10.2 Kg/cm ²	15.5 Kg/cm ²	Cumple
Bloque Adic. 7.5%		15 Kg/cm ²	Cumple
Bloque Adic. 12.5%		16.5Kg/cm ²	Cumple

Figura 25

Pesos de bloques de adobes según tipo y adición de papel reciclado

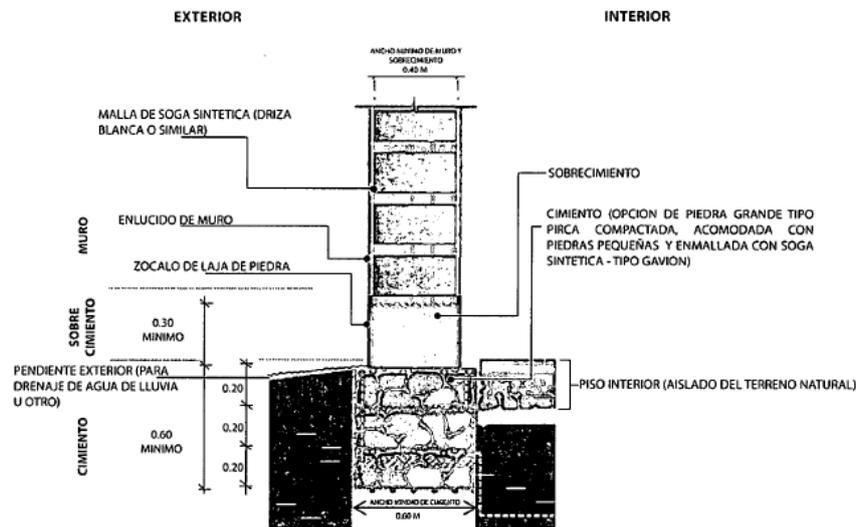


3.6. Diseño de muro de acuerdo con la norma E.080

La finalidad de esta investigación se centra en la unidad de adobe, sin embargo, se resalta el diseño de muro de adobe con geomalla, ya que para este diseño se deben utilizar bloques de adobe de 20 x 40 x 12 cm. Para poder garantizar un adecuado diseño estructural, como indica la norma en la **Figura 26** demuestra que el diseño mínimo para el ancho del bloque es de 40cm, Así como también la altura del adobe debe estar entre 8 a 12 cm de espesor como indica la norma. Y finalmente puede ser cuadrada o rectangular y en el caso de ser rectangular el largo debe ser la mitad del ancho.

Figura 26

Esquema de cimentación de un muro de adobe

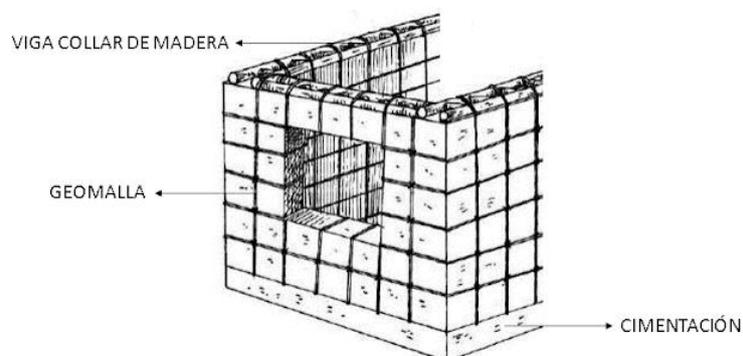


Nota. La figura muestra las partes de una cimentación para una vivienda de adobe. Adaptado de Norma E.080 - Diseño y construcción con tierra reforzada.

Por lo tanto, hacer muestras de adobe de ese tamaño no ayuda para el ensayo por compresión, en la norma específica que para muestras de ensayos se pueden realizar cubos de 10cm, pero se elaboró muestras de adobe con las medidas de 20 x 15 x 8 cm para la facilidad de la adición del papel reciclado. Asimismo, en la **Figura 27** se observa el diseño de muro de adobe, cumpliendo con la norma E.080, en la cual indica que “la geomalla debe estar convenientemente anclada a la base del sobrecimiento y a la viga collar superior” (Norma E.080).

Figura 27

Construcción reforzada con geomallas



Nota. La figura muestra el esquema de muro de adobe con geomalla. Adaptado de “Muro de adobe reforzado con geomalla” por Mamani, 2021
(<https://ingenieria13civil.blogspot.com/2021/01/muro-de-adobe-reforzado-con-geomalla.html>)

4. CONCLUSIONES

- Se concluye según los datos y registros analizados del distrito de Cullhuas, ubicado en la provincia de Huancayo, existen temperaturas bajas y drásticas en los meses de invierno. Así mismo, que existe una población vulnerable y que el porcentaje de viviendas de adobe se encuentra en un nivel de exposición entre alto y muy alto. En tal sentido, se necesita la implementación de estrategias que permitan mejorar las condiciones de vida de los pobladores y que esta adición es una alternativa viable.
- Se infiere que la cantera seleccionada para la extracción de la tierra para la elaboración de los bloques de adobe es la apropiada por la presencia de arcilla requerida según los resultados positivos de las pruebas de “Presencia de arcilla” o “Resistencia seca” puesto que al intentar romper o agrietar las cuatro bolitas realizadas esta no sufrió alteraciones significativas, por lo que se determina que la tierra tiene un alto contenido de arcilla y esto garantiza un comportamiento plástico, necesario para la elaboración de los bloques de adobe. Así mismo, la prueba de “Cinta de barro” demostró que la cantera es apropiada puesto que la cinta alcanza una longitud superior a la requerida y confirma que es una cantera apropiada.
- Se puede concluir que, a partir del proceso de diseño, elaboración y secado de los bloques de adobe que la adición de papel reciclado (PPR) tiene una influencia directa en el control de la aparición de fisuras durante el periodo de secado, puesto que la aparición de las fisuras en los bloques sin adición ha sido notablemente mayor. Dicha mejora contribuye a la función que desempeña la paja, es decir mejora el control de fisuras y evidencia una mejor cohesión de los materiales del bloque. Así mismo, que el porcentaje de adición que ha contribuido más a la formación de fisuras ha sido el 12.5% frente al 7.5% de adición de papel reciclado.

- Se concluye que de acuerdo con los ensayos de resistencia por compresión se determinó que el adobe patrón es el bloque tradicional puesto que alcanzó una de las resistencias mínimas de 12 Kg/cm², sin embargo, dicho valor supera a la resistencia mínima requerida por la Norma E.080 que sitúa su valor en 10.2 Kg/cm². Así mismo, que el proceso de elaboración tradicional permite alcanzar valores mínimos requeridos que pueden ser mejorados.
- Se puede concluir que la adición de residuos de papel reciclado logra mejorar la resistencia por compresión en un 10% con la adición del 12.5%, puesto que alcanza una resistencia promedio de 16.5 Kg/cm² mientras que la resistencia del adobe tradicional alcanza un promedio de 15 Kg/cm². Además, la inclusión de este material como adición puede contribuir en la reducción de peso por unidad de adobe porque las unidades con esta adición consiguen reducir el peso de los bloques en un 25.5% con relación al peso de las unidades sin adición. Entonces, el papel reciclado mejora las prestaciones mecánicas del adobe en porcentajes significativos logrando resistencias superiores y bloques más livianos.
- De acuerdo con los resultados de las pruebas de conductividad térmica, la inclusión de este material reciclado alcanza una mejora de hasta un 12.5% en cuanto a la reducción de la densidad de los bloques, que está relacionado al peso, por lo tanto, con esta técnica aplicada obtener bloques con menor densidad y esto favorece a las prestaciones del adobe y mejora una de sus principales limitaciones relacionados con el peso propio del elemento.
- Se puede inferir que, luego de culminar los ensayos, la resistividad de los bloques de adobe con adición al 12.5% logra incrementarse en un 16%. Esto significa que la oposición al paso del calor a través de los bloques de adobe con dicho porcentaje es mayor a la resistividad presentada por los bloques sin adición que solo logran alcanzar 1.25 m°K/W, en comparación al valor de 2.186 de resistividad alcanzado por los adobes con la adición mencionada. Entonces, la aplicación de papel reciclado mejora el desempeño térmico del adobe como material de construcción.
- Se concluye que los bloques de adobe con adición del 12.5% de papel reciclado (PPR) lograron reducir el coeficiente de conductividad térmica de 0.800 W/mK hasta 0.457 W/mK, escenario observado luego de la comparación del bloque sin adición con el bloque con 12.5% de PPR en su composición. Esta reducción

representa un 42.9%, es decir que la adición investigada logra reducir la conductividad térmica del adobe y en consecuencia mejora su desempeño térmico.

- Finalmente, luego de los ensayos ejecutados y el monitoreo realizado desde la etapa de elaboración de los bloques de adobe con las proporciones definidas, es posible señalar que el porcentaje óptimo de adición para la elaboración de bloques de adobe es de 12.5%, puesto que ha demostrado mejor comportamiento en cuanto al desempeño térmico y a la resistencia por compresión de los bloques con esa composición.

5. RECOMENDACIONES

- Se recomienda realizar un estudio de laboratorio con mayor profundidad de la cantera con la que se han elaborado los bloques de adobe porque se puede ampliar el análisis respecto a su comportamiento y conocer con precisión el porcentaje de arcilla y otros componentes presentes.
- Se sugiere el incremento del número de bloques de adobe para analizar, puesto que a una mayor muestra de bloques se puede observar resultados más consistentes y estudiar las causas de posibles variabilidades. Así también, proponer otras composiciones de adobes para evaluar posibles mejoras respecto a su desempeño térmico.
- Se debe ampliar el tiempo de investigación porque los resultados son alentadores en cuanto a la reducción del coeficiente de conductividad térmica y el mejoramiento de prestaciones mecánicas como la resistencia por compresión y la reducción del peso de los bloques cuando se incrementa el porcentaje de papel reciclado. Se propone la construcción de un módulo en la zona de estudio para evaluar con más precisión la efectividad de la técnica.
- Se sugiere realizar una simulación con el software ECOTEC para poder simular las condiciones climáticas propias de la zona y así mismo la temperatura interna que se obtiene al aplicar esta técnica, esto se puede realizar posteriormente a la ejecución de los ensayos que servirán como valores de entrada. Este modelado puede validar de manera inicial un incremento en la temperatura interna de las viviendas.
- La presente investigación se centra en la influencia de la adición del papel reciclado (PPR) en una unidad o bloque de adobe. Si bien es cierto, estos bloques

cumplen con la resistencia mínima se sugiere ampliar la investigación con la elaboración de bloques adecuados según norma y el armado de pilas y muretes de adobe con la adición más óptima, que es el 12.5%, para ser sometidos a ensayos que rectifiquen su comportamiento sísmico.

- La investigación tiene por objetivo reducir la conductividad térmica de los bloques de adobe para mejorar el comportamiento térmico. Aunque, existe una diversa oferta de materiales que complementan al adobe con rendimientos similares, esta técnica además de conseguir dicha reducción logra contribuir en encontrar una alternativa de uso para los desechos de una industria como la papelera que tiene huellas de contaminación considerables actualmente.

6. REFERENCIAS

- Abanto, G. A., Karkri, M., Lefebvre, G., Horn, M., Solis, J. L., & Gómez, M. M. (2017). Thermal properties of adobe employed in Peruvian rural areas: Experimental results and numerical simulation of a traditional bio-composite material. *Case Studies in Construction Materials*, 6, 177–191. <https://doi.org/10.1016/J.CSCM.2017.02.001>
- Arquitectura Sostenible. (2021, 6 de setiembre). *La celulosa: un excelente aislante y un material constructivo*. Recuperado de 30 de octubre de 2023, de <https://arquitectura-sostenible.es/celulosa-aislante-material-construccion/>
- Babé, C., Kidmo, D. K., Tom, A., Mvondo, R. R. N., Boum, R. B. E., & Djongyang, N. (2020). Thermomechanical characterization and durability of adobes reinforced with millet waste fibers (sorghum bicolor). *Case Studies in Construction Materials*, 13. <https://doi.org/10.1016/J.CSCM.2020.E00422>
- Babé, C., Kidmo, D. K., Tom, A., Mvondo, R. R. N., Kola, B., & Djongyang, N. (2021). Effect of neem (*Azadirachta Indica*) fibers on mechanical, thermal and durability properties of adobe bricks. *Energy Reports*, 7, 686–698. <https://doi.org/10.1016/J.EGYR.2021.07.085>
- Bullibabu, K., Abidali, M., & Veeranjanyulu, K. (2018). Characterization and production of thermal Insulating Fired Clay Bricks with admixture of Bagasse and Palmyra fruit fiber. *Materials Today: Proceedings*, 5(2), 6973–6980. <https://doi.org/10.1016/J.MATPR.2017.11.360>
- Centro Nacional de Estimación, Prevención y Reducción del Riesgo de Desastres, (2022). Registro mensual de emergencias por heladas en Junin. <https://www.gob.pe/cenepred>
- Holguino, A., Olivera, L., & Escobar, K. (2018). Thermal comfort in a adobe room with heat storage system in the andes of Perú. *Journal of High Andean Research*, 20(3), 289-300. <https://dx.doi.org/10.18271/ria.2018.393>
- Instituto Nacional de Estadística e Informática. (2017) En el país existen más de diez millones de viviendas particulares censadas. *Produciendo estadísticas para el desarrollo del Perú*. (137), 1-3. <https://m.inei.gob.pe/prensa/noticias/en-el-pais-existen-mas-de-diez-millones-de-viviendas-particulares-censadas-10893/#>
- Mamani, D. (s.f.). *Muro de adobe reforzado con geomalla* [tecnología de la construcción 1] IngenieríaCivil2021. <https://ingenieria13civil.blogspot.com/2021/01/muro-de-adobe-reforzado-con-geomalla.html>
- Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. (2017) Normas del reglamento Nacional de Edificaciones. Norma E.080 Diseño y Construcción con tierra reforzada.
- Mohamed, I., Khaled, A., Ahmed, E., Ahmed, M., Abdelaziz, I., Nader, R., & Haitham, H. (2022). Recycling rice straw ash to produce low thermal conductivity and

- moisture-resistant geopolymer adobe bricks. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 29, 3759-3771. <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2022.02.046>
- Muñoz, P., Letelier, V., Muñoz, L., & Bustamante, M. (2020). Adobe bricks reinforced with paper & pulp wastes improving thermal and mechanical properties. *Construction and Building Materials*, 254, 1-10
- Ministerio de Salud. (2019). *Plan de Reducción de la Vulnerabilidad ante la Temporada de Bajas Temperaturas del Ministerio de Salud, 2019 – 2021*. <http://www.dge.gob.pe/portal/docs/tools/frio/PlanRV21.pdf>
- Nave, R. (2020, 5 de marzo). *Conductividad térmica y ley de Wiedemann-Franz*. HyperPhysics. <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/thermo/thercond.html#c1>
- Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú. (s.f.). *Heladas y Frijaje*. Recuperado el 14 de noviembre de 2023, de <https://www.senamhi.gob.pe/?p=heladas-y-frijajes-preguntas>
- Simao, L., Hotza, D., Raupp-Pereira, F., Labrincha, J., & Montedo, O. (2019). Characterization of Pulp and mil waste for the production of waste based cement. *Rev. Int. Contam. Ambie.* 35(1), 237-246. <https://dx.doi.org/10.20937/rica.2019.35.01.17>
- Weather Spark. (s.f.). *El clima y el tiempo promedio en todo el año en Cullhuas*. Recuperado de 30 de octubre de 2023, de <https://es.weatherspark.com/y/22262/Clima-promedio-en-Cullhuas-Per%C3%BA-durante-todo-el-a%C3%B1o>

7. ANEXOS

Anexo N°1: Ingreso a Cullhuas y Recolección de la tierra para la elaboración de los bloques de adobe.



Figura 28: *Ingreso a cantera de Cullhuas para la recolección de la tierra para los bloques de adobe.*

Anexo N°2: Elaboración de las muestras de adobe con la adición de papel reciclado.



Figura 29: *Elaboración de los bloques de adobe con la adición del papel reciclado.*

Anexo N°3: Ensayo de Compresión



Figura 30: Se realizó el ensayo de compresión a 26 bloques de adobe, 1er grupo 6 adobes tradicional, 2do grupo 6 adobes por la norma E-0.80, 3er grupo 6 adobes con adición del 7.5% de papel reciclado y 4to grupo 8 adobes con la adición del 12.5% de papel reciclado

Anexo N°4: Resultados del Ensayo de Conductividad térmica

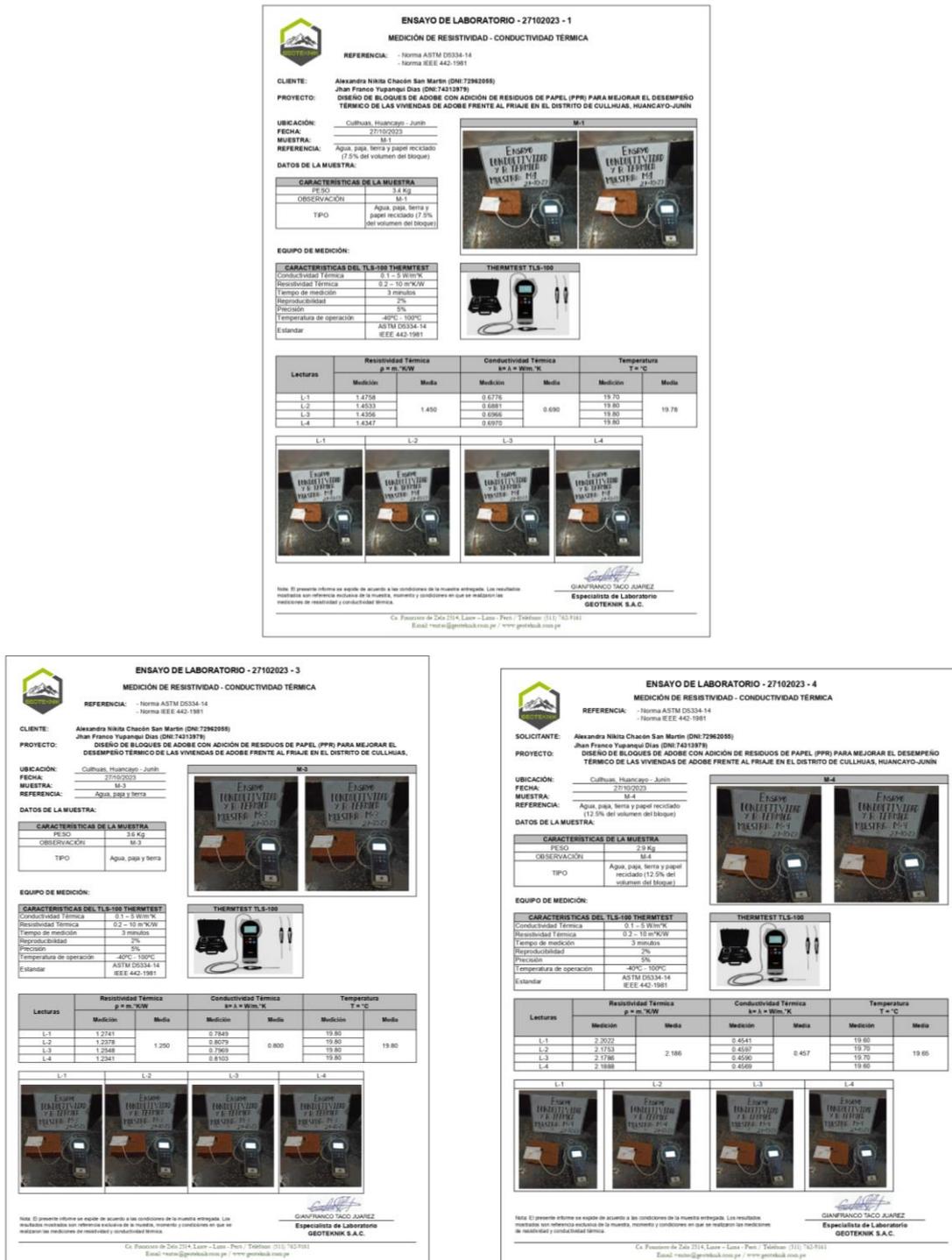


Figura 31: Resultados de los ensayos de conductividad térmica de 4 muestras de adobe, 1er bloque tradicional, 2do bloque por la norma E-0.80, 3er bloque con adición de 7.5% de papel reciclado y 4to bloque de adobe con adición de 12.5% de papel reciclado

Anexo N°5: Resultados del Ensayo por Compresión

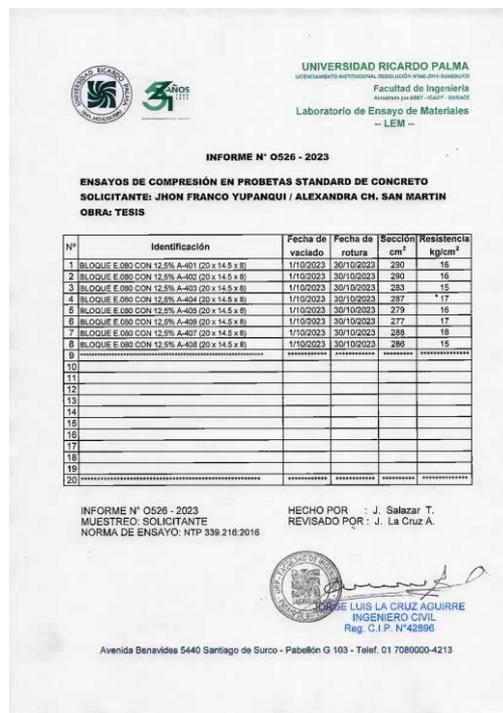
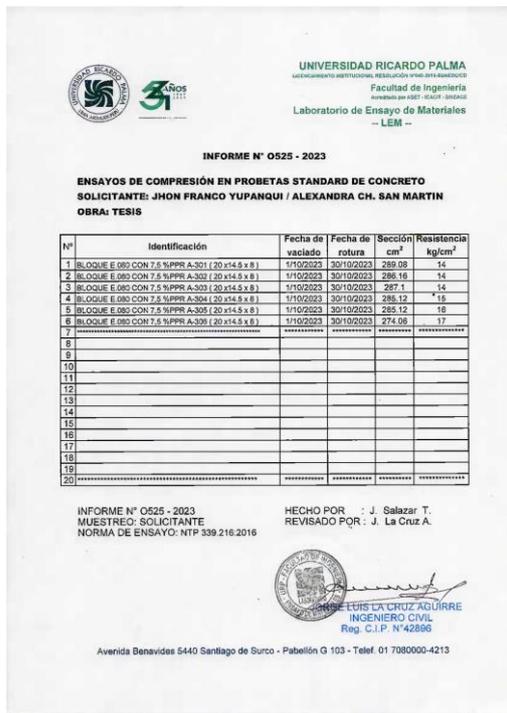


Figura 32: Resultados del ensayo por compresión de 4 grupos de adobe, 1er grupo 6 bloques de adobe tradicional, 2do grupo 6 bloques de adobe por la norma E-0.80, 3er grupo 6 bloques de adobe con adición de 7.5% de papel reciclado y 4to grupo 8 bloques de adobe con adición de 12.5% de papel reciclado.