

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



PLAN DE TESIS

**“DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DE
ECOLADRILLOS PARA MUROS PORTANTES FABRICADOS CON RESIDUO DE
LADRILLO, ASERRÍN, CEMENTO PUZOLÁNICO IP Y AGUA DE LLUVIA,
CAJAMARCA 2023”**

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO CIVIL

PRESENTADO POR:

Bach. BARBOZA SAAVEDRA JOSÉ ROMARIO ALEXANDER

ASESOR:

Mg. Ing. HÉCTOR HUGO MIRANDA TEJADA

CAJAMARCA – PERÚ

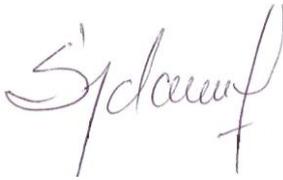
2025

CONSTANCIA DE INFORME DE ORIGINALIDAD

FACULTAD DE INGENIERÍA

- Investigador:** BARBOZA SAAVEDRA JOSÉ ROMARIO ALEXANDER
DNI: 76415565
Escuela Profesional: Ingeniería Civil
 - Asesor:** Héctor Hugo Miranda Tejada
Facultad: Ingeniería
 - Grado académico o título profesional**
 Bachiller Título profesional Segunda especialidad
 Maestro Doctor
 - Tipo de Investigación:**
 Tesis Trabajo de investigación Trabajo de suficiencia profesional
 Trabajo académico
 - Título de Trabajo de Investigación:**
 - Fecha de evaluación:** 18/01/2025
- “DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DE ECOLADRILLOS PARA MUROS PORTANTES FABRICADOS CON RESIDUO DE LADRILLO, ASERRÍN, CEMENTO PUZOLÁNICO IP Y AGUA DE LLUVIA, CAJAMARCA 2023”
- Software antiplagio:** TURNITIN URKUND (OURIGINAL) (*)
 - Porcentaje de Informe de Similitud:** 21 %
 - Código Documento:** 3117:42185221
 - Resultado de la Evaluación de Similitud:**
 APROBADO PARA LEVANTAMIENTO DE OBSERVACIONES O DESAPROBADO

Fecha Emisión: 18/01/2025

		<p>Firmado digitalmente por: BAZAN DIAZ Laura Sofia FAU 20148258601 soft Motivo: En señal de conformidad Fecha: 18/01/2025 23:32:42-0500</p>
<p>_____ FIRMA DEL ASESOR Nombres y Apellidos Héctor Hugo Miranda Tejada DNI: 26617213</p>	<p>_____ UNIDAD DE INVESTIGACIÓN FI</p>	



Universidad Nacional de Cajamarca

"Norte de la Universidad Peruana"

Fundada por Ley 14015 del 13 de Febrero de 1962

FACULTAD DE INGENIERÍA

Teléf. N° 365976 Anexo N° 1129-1130



ACTA DE SUSTENTACIÓN PÚBLICA DE TESIS.

TITULO : "DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DE ECOLADRILLOS PARA MUROS PORTANTES FABRICADOS CON RESIDUO DE LADRILLO, ASERRÍN, CEMENTO PUZOLÁNICO IP Y AGUA DE LLUVIA, CAJAMARCA 2023"

ASESOR : Mag. Ing. Héctor Hugo Miranda Tejada.

En la ciudad de Cajamarca, dando cumplimiento a lo dispuesto por el Oficio Múltiple N° 0070-2025-PUB-SA-FI-UNC, de fecha 23 de enero de 2025, de la Secretaría Académica de la Facultad de Ingeniería, a los **veintisiete días del mes de enero de 2025**, siendo las nueve horas (09:00 m.) en la Sala de Audiovisuales (Edificio 1A - Segundo Piso), de la Facultad de Ingeniería se reunieron los Señores Miembros del Jurado Evaluador:

- Presidente : Dr. Ing. Mauro Augusto Centurión Vargas.
- Vocal : Dr. Ing. Miguel Angel Mosqueira Moreno.
- Secretario : Ing. Marco Wilder Hoyos Saucedo.

Para proceder a escuchar y evaluar la sustentación pública de la tesis titulada "DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DE ECOLADRILLOS PARA MUROS PORTANTES FABRICADOS CON RESIDUO DE LADRILLO, ASERRÍN, CEMENTO PUZOLÁNICO IP Y AGUA DE LLUVIA, CAJAMARCA 2023", presentado por el Bachiller en Ingeniería Civil JOSÉ ROMARIO ALEXANDER BARBOZA SAAVEDRA, asesorado por el Mag. Ing. Héctor Hugo Miranda Tejada, para la obtención del Título Profesional

Los Señores Miembros del Jurado replicaron al sustentante debatieron entre sí en forma libre y reservada y lo evaluaron de la siguiente manera:

- EVALUACIÓN PRIVADA : 6 PTS.
- EVALUACIÓN PÚBLICA : 10 PTS.
- EVALUACIÓN FINAL : 16 PTS DIECISEIS (En letras)

En consecuencia, se lo declara APROBADO con el calificativo de 16 (DIECISEIS) acto seguido, el presidente del jurado hizo saber el resultado de la sustentación, levantándose la presente a las 10:15 horas del mismo día, con lo cual se dio por terminado el acto, para constancia se firmó por quintuplicado.

Dr. Ing. Mauro Augusto Centurión Vargas.
Presidente

Dr. Ing. Miguel Angel Mosqueira Moreno.
Vocal

Ing. Marco Wilder Hoyos Saucedo.
Secretario

Mag. Ing. Héctor Hugo Miranda Tejada.
Asesor



Universidad Nacional de Cajamarca

"Norte de la Universidad Peruana"

Fundada por Ley 14015 del 13 de Febrero de 1962

FACULTAD DE INGENIERÍA

Teléf. N° 365976 Anexo N° 1129-1130



EVALUACIÓN DE LA SUSTENTACIÓN PÚBLICA DE TESIS.

Bachiller en Ingeniería Civil: JOSÉ ROMARIO ALEXANDER BARBOZA SAAVEDRA.

RUBRO	PUNTAJE
	Máximo/Calificación
1. DE LA SUSTENTACIÓN PÚBLICA	
1.1. Capacidad de síntesis	2
1.2. Dominio del tema	3
1.3. Consistencia de las alternativas presentadas	2
1.4. Precisión y seguridad en las respuestas	3
PUNTAJE TOTAL (MÁXIMO 12 PUNTOS)	10

Cajamarca, 27 de enero de 2025

Dr. Ing. Mauro Augusto Centurión Vargas.
Presidente

Dr. Ing. Miguel Angel Mosqueira Moreno.
Vocal

Ing. Marco Wilder Hoyos Saucedo.
Secretario

Mag. Ing. Héctor Hugo Miranda Tejada.
Asesor



Universidad Nacional de Cajamarca

"Norte de la Universidad Peruana"

Fundada por Ley 14015 del 13 de Febrero de 1962

FACULTAD DE INGENIERÍA

Teléf. N° 365976 Anexo N° 1129-1130



EVALUACIÓN FINAL DE LA SUSTENTACIÓN DE TESIS.

Bachiller en Ingeniería Civil: JOSÉ ROMARIO ALEXANDER BARBOZA SAAVEDRA.

RUBRO	PUNTAJE
A.- EVALUACIÓN DE LA SUSTENTACIÓN PRIVADA	6
B.- EVALUACIÓN DE LA SUSTENTACIÓN PÚBLICA	10
EVALUACIÓN FINAL	
EN NÚMEROS (A + B)	16
EN LETRAS (A + B)	Dieciséis.
- Excelente 20 - 19	BUENO
- Muy Bueno 18 - 17	
- Bueno 16 - 14	
- Regular 13 a 11	
- Desaprobado 10 a menos	

Cajamarca, 27 de enero de 2025

Dr. Ing. Mauro Augusto Centurión Vargas.
Presidente

Dr. Ing. Miguel Angel Mosqueira Moreno.
Vocal

Ing. Marco Wilder Hoyos Saucedo.
Secretario

Mag. Ing. Héctor Hugo Miranda Tejada.
Asesor

AGRADECIMIENTO

A mi familia por escucharme y apoyarme. Gracias a mis padres por estar siempre ahí apoyándome en todo momento.

Me gustaría agradecer a mi asesor por todos sus consejos y su firme apoyo durante todo el proceso académico. Su compromiso y dedicación han sido cruciales en el desarrollo de mi investigación.

A la Universidad por brindarme la valiosa oportunidad de visitar y utilizar su laboratorio. El apoyo de la universidad fue muy importante para poder realizar mi investigación de manera efectiva. Agradezco profundamente a esta institución su generosidad y apertura, que ha facilitado mi desarrollo académico y la realización de este trabajo.

A las personas y amistades que me apoyaron de cualquier manera en la elaboración de mi tesis.

DEDICATORIA

A mi madre Delia, quien ha sido mi apoyo constante. A mi padre Sixto, cuyas enseñanzas iluminaron mi camino académico. A mis hermanos por su respaldo total, dedico este trabajo a todos ustedes.

CONTENIDO

AGRADECIMIENTO	ii
DEDICATORIA	iii
CONTENIDO	iv
ÍNDICE DE TABLAS	viii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xi
RESUMEN	xiii
ABSTRACT.....	xiv
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN	1
1.1. Planteamiento del Problema.....	1
1.2. Formulación del Problema	2
1.3. Hipótesis.....	3
1.4. Justificación de la Investigación	3
1.5. Delimitación de la Investigación.....	3
1.6. Limitaciones	4
1.7. Objetivos	4
1.7.1. Objetivo general.....	4
1.7.2. Objetivos específicos	4
1.8. Organización de la Tesis	5
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO	6
2.1. Antecedentes Teóricos	6
2.1.1. Antecedentes Internacionales.....	6
2.1.2. Antecedentes Nacionales	7
2.1.3. Antecedentes Locales.....	8
2.2. Bases Teóricas.....	8
2.2.1. Muro Portante	8
2.2.2. Ladrillo Ecológico	9
2.2.3. Aserrín.....	10

2.2.4.	Unidades de Albañilería.....	11
2.2.5.	Cemento Puzolánico IP.....	14
2.2.6.	Agua de Lluvia.....	14
2.2.7.	Mortero	16
2.2.8.	Compresión Axial de Pilas de Albañilería (NTP 399.605:2018)	17
2.3.	Definición de Términos Básicos	19
CAPÍTULO III. MATERIALES Y METODOS		20
3.1.	Materiales y Equipos	20
3.1.1.	Materiales	20
3.1.2.	Equipos	20
3.2.	Metodología	21
3.2.1.	Localización.....	21
3.2.2.	Época de Investigación.....	21
3.2.3.	Tipo, Nivel, Diseño y Enfoque de la Investigación.....	21
3.2.4.	Población	22
3.2.5.	Muestra	22
3.2.6.	Unidad de Análisis y Unidad de Observación.....	22
3.2.7.	Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos.....	22
3.3.	Características Físicas del Residuo de Ladrillo.....	23
3.3.1.	Granulometría.....	23
3.3.2.	Contenido de Humedad	24
3.3.3.	Peso Específico y Absorción	24
3.3.4.	Peso Unitario	26
3.4.	Características Físicas del Aserrín	28
3.4.1.	Granulometría.....	28
3.4.2.	Contenido de Humedad	28
3.4.3.	Peso Específico y Absorción	28

3.4.4. Peso Unitario	31
3.5. Características Físicas de la Arena para Elaboración de Ecoladrillos y Arena para- Mortero.....	31
3.5.1. Granulometría	31
3.5.2. Contenido de Humedad	31
3.5.3. Peso Específico y Absorción	31
3.5.4. Peso Unitario	31
3.6. Propiedades del Cemento Pozolánico IP.....	31
3.7. Propiedades del Agua de Lluvia.....	32
3.8. Ecoladrillo Fabricado con Residuo de Ladrillo, Aserrín, Cemento Pozolánico IP y Agua de Lluvia.....	32
3.8.1. Dimensiones del Ladrillo.....	32
3.8.2. Dosificación de Mezcla para la Elaboración del Ecoladrillo	32
3.8.3. Procedimiento para la Elaboración del Ecoladrillo	32
3.9. Características Físicas y Mecánicas del Ecoladrillo	33
3.9.1. Resistencia a la Compresión.....	33
3.9.2. Variación Dimensional	34
3.9.3. Alabeo.....	34
3.9.4. Absorción.....	35
3.10. Resistencia a Compresión del Mortero	36
3.11. Propiedades de los Prismas de Albañilería	36
3.11.1. Compresión Axial de Pilas de Albañilería (NTP 399.605:2018)	36
3.12. Presentación de resultados	37
3.12.1. Propiedades Físicas del Residuo de Ladrillo (Agregado Grueso).....	37
3.12.2. Propiedades Físicas del Aserrín.....	38
3.12.3. Propiedades Físicas de la Arena para Elaboración de Ecoladrillo	39
3.12.4. Propiedades Químicas del Agua de Lluvia.....	39
3.12.5. Propiedades Físicas del Agregado Utilizado para el Mortero	40

3.12.6. Dosificación de Mezcla para la Fabricación del Ecoladrillo	40
3.12.7. Características Físicas y Mecánicas del Ecoladrillo.....	40
3.12.8. Resistencia a Compresión del Mortero.....	43
3.12.9. Propiedades de los Prismas de Albañilería.....	44
CAPÍTULO IV. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	45
CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	49
5.1. Conclusiones	49
5.2. Recomendaciones.....	49
BIBLIOGRAFÍA	50
ANEXOS	54

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Características del aserrín de pino	10
Tabla 2 Requisitos de resistencia y absorción	11
Tabla 3 Clase de unidad de albañilería para fines estructurales	12
Tabla 4 Limitaciones en el uso de la unidad de albañilería para muros confinados.....	13
Tabla 5 Límites químicos opcionales para el agua de mezcla combinada.....	16
Tabla 6 Tipos de mortero	17
Tabla 7 Tamaño de la muestra	22
Tabla 8 Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos	23
Tabla 9 Propiedades físicas del residuo de ladrillo (Agregado Grueso).....	38
Tabla 10 Propiedades físicas del aserrín	38
Tabla 11 Propiedades físicas de la arena	39
Tabla 12 Propiedades químicas del agua de lluvia	39
Tabla 13 Propiedades de la arena gruesa para mortero.....	40
Tabla 14 Dosificación de mezcla para la fabricación del ecoladrillo	40
Tabla 15 Ensayo de Resistencia a la compresión de ecoladrillos	41
Tabla 16 Variación dimensional del ecoladrillo	41
Tabla 17 Ensayo de Alabeo del ecoladrillo	42
Tabla 18 Ensayo de Absorción de ecoladrillos	43
Tabla 19 Ensayo de Resistencia a la compresión del mortero.....	44
Tabla 20 Resistencia a la compresión axial de pilas de ecoladrillo	44
Tabla 21 Granulometría del residuo de ladrillo	55
Tabla 22 Contenido de humedad del residuo de ladrillo	56
Tabla 23 Peso específico y absorción del residuo de ladrillo	56
Tabla 24 Peso unitario compactado del residuo de ladrillo	57

Tabla 25	Peso unitario suelto del residuo de ladrillo	57
Tabla 26	Granulometría del aserrín	58
Tabla 27	Contenido de humedad del aserrín.....	59
Tabla 28	Peso específico y absorción del aserrín	59
Tabla 29	Peso unitario compactado del aserrín	60
Tabla 30	Peso unitario suelto del aserrín	60
Tabla 31	Granulometría de la arena.....	61
Tabla 32	Contenido de humedad de la arena	62
Tabla 33	Peso específico y absorción de la arena.....	62
Tabla 34	Peso unitario compactado de la arena.....	63
Tabla 35	Peso unitario suelto de la arena.....	63
Tabla 36	Granulometría de la arena para mortero	64
Tabla 37	Contenido de humedad de la arena para mortero.....	65
Tabla 38	Peso específico y absorción de la arena para mortero	65
Tabla 39	Peso unitario compactado de la arena para mortero	66
Tabla 40	Peso unitario suelto de la arena para mortero	66
Tabla 41	Propiedades del Residuo de Ladrillo	74
Tabla 42	Propiedades del Aserrín	74
Tabla 43	Propiedades de la Arena para Ecoladrillo	75
Tabla 44	Resistencia especificada a la compresión	75
Tabla 45	Contenido de Aire	76
Tabla 46	Volumen Unitario de Agua.....	76
Tabla 47	Relación agua /cemento por peso	77
Tabla 48	Volumen de Agregado Grueso Seco.....	78
Tabla 49	Proporción de mezcla del mortero	83

Tabla 50 Medidas de los cubos de mortero para ensayo a compresión	84
Tabla 51 Resistencia a compresión de los cubos del mortero.....	85
Tabla 52 Medidas de los ecoladrillos para ensayo a compresión	86
Tabla 53 Variación Dimensional de ecoladrillos	87
Tabla 54 Alabeo de ecoladrillos.....	88
Tabla 55 Resistencia a la compresión de ecoladrillos.....	88
Tabla 56 Absorción de ecoladrillos	89
Tabla 57 Dimensiones de las pilas de ecoladrillos	90
Tabla 58 Resistencia a compresión axial de las pilas de ecoladrillos.....	91
Tabla 59 Esfuerzo vs deformación pila N° 1	92
Tabla 60 Esfuerzo vs deformación pila N° 2	93
Tabla 61 Esfuerzo vs deformación pila N° 3	94
Tabla 62 Esfuerzo vs deformación pila N° 4	95
Tabla 63 Esfuerzo vs deformación pila N° 5	96
Tabla 64 Factores de corrección h_p/t_p para resistencia a compresión de prismas de albanilería.....	97

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Curva granulométrica del residuo de ladrillo	55
Figura 2 Curva granulométrica del aserrín	58
Figura 3 Curva granulométrica de la arena para elaboración de ecoladrillo	61
Figura 4 Curva granulométrica de la arena para mortero	64
Figura 5 Ficha Técnica del Cemento Pozolánico IP.....	67
Figura 6 Datos de la muestra del agua de lluvia	71
Figura 7 Propiedades Fisicoquímicos del Agua de Lluvia	72
Figura 8 Métodos de ensayo utilizados.....	73
Figura 9 Diagrama Esfuerzo vs Deformación Unitaria de Pilas.....	97
Figura 10 Ensayo de Granulometría del Residuo de Ladrillo	98
Figura 11 Ensayo de Granulometría del Aserrín de madera de pino.....	98
Figura 12 Ensayo de Granulometría de la Arena.....	99
Figura 13 Ensayo de Peso Específico del Residuo de Ladrillo	99
Figura 14 Ensayo de Peso Específico del Aserrín	99
Figura 15 Ensayo de Peso Específico de la Arena.....	100
Figura 16 Ensayo de Peso Unitario del Residuo de Ladrillo	101
Figura 17 Ensayo de Peso Unitario del Aserrín.....	101
Figura 18 Ensayo de Peso Unitario de la Arena	102
Figura 19 Recolección y Toma de Muestra de Agua de Lluvia	102
Figura 20 Preparación de la Mezcla de Concreto	103
Figura 21 Medición del Slump de la Mezcla de Concreto	103
Figura 22 Ecoladrillos con Residuo de Ladrillo, Aserrín y Agua de Lluvia	104
Figura 23 Ensayo de Contenido de Humedad de la Arena para Mortero	104
Figura 24 Ensayo de Peso Unitario de Arena para Mortero	105

Figura 25 Ensayo de Peso Específico de la Arena para Mortero.....	105
Figura 26 Ensayo de Variación Dimensional de Unidades	106
Figura 27 Ensayo de Alabeo de Unidades	106
Figura 28 Ensayo de Resistencia a Compresión de Unidades	107
Figura 29 Ensayo de Resistencia a Compresión Axial de Pilas	107
Figura 30 Ensayo de Resistencia a Compresión de Cubos de Mortero	108
Figura 31 Ensayo de Absorción de Ecoladrillos.....	108

RESUMEN

El manejo inadecuado de residuos como ladrillos rotos provenientes de obras de construcción o ladrilleras y aserrín generado en actividades madereras representa un desafío significativo, al contribuir a la contaminación ambiental y al desperdicio de materiales potencialmente reutilizables. La indagación estableció como fin determinar las características físicas y mecánicas de ecoladrillos para muros portantes. La muestra estuvo compuesta por 40 especímenes, 10 por cada ensayo, en los que se evaluaron resistencia a compresión, absorción de agua, alabeo, variación dimensional y 5 pilas para evaluar resistencia a compresión axial, los ecoladrillos se fabricaron con residuo de ladrillo King Kong, aserrín de pino, cemento puzolánico IP y agua de lluvia. Los resultados evidenciaron que; los ecoladrillos alcanzaron una resistencia característica a compresión de 19.28 MPa, clasificándolos como Tipo 17 según la NTP 399.601 (ladrillos de concreto) y como Tipo V según la norma técnica 0.70 Albañilería Confinada; las propiedades de absorción (7.17 %), alabeo (0.8mm) y variación dimensional (-0.54%) cumplieron con los valores establecidos por dichas normativas, confirmando su calidad como unidades individuales. Sin embargo, las pilas de albañilería construidas con estos ladrillos no alcanzaron la resistencia mínima de 85 kg/cm² requeridas según la E.070 para el Tipo V, alcanzando un valor de 84.76 kg/cm². Además, al efectuar la dosificación de materiales se consiguió una mezcla de consistencia seca con un slump de 0 a 2". Se concluyó que el ecoladrillo como unidad independiente cumple con los valores normativos establecidos, sin embargo, las pilas de albañilería no alcanzaron la resistencia requerida según la norma E.070. Albañilería Confinada.

Palabras Clave: Ecoladrillos, aserrín, resistencia a la compresión, prismas, agua de lluvia, muros portantes.

ABSTRACT

The improper management of waste such as broken bricks from construction sites or brick factories and sawdust generated in woodworking activities represents a significant challenge, as it contributes to environmental pollution and the waste of potentially reusable materials. The investigation aimed to determine the physical and mechanical characteristics of eco-bricks for load-bearing walls. The sample consisted of 40 specimens, 10 for each test, where compression resistance, water absorption, warping, dimensional variation, and 5 masonry stacks were evaluated to assess axial compression resistance. The eco-bricks were made with King Kong brick waste, pine sawdust, pozzolanic cement IP, and rainwater. The results showed that the eco-bricks achieved a characteristic compression resistance of 19.28 MPa, classifying them as Type 17 according to NTP 399.601 (concrete bricks) and as Type V according to technical standard 0.70 Confined Masonry; the absorption properties (7.17%), warping (0.8mm), and dimensional variation (-0.54%) met the values established by these standards, confirming their quality as individual units. However, the masonry stacks constructed with these bricks did not reach the minimum resistance of 85 kg/cm² required by E.070 for Type V, reaching a value of 84.76 kg/cm². Additionally, when performing the material dosages, a dry mix with a slump of 0 to 2" was achieved. It was concluded that the eco-brick as an independent unit meets the established normative values; however, the masonry stacks did not reach the required resistance according to the E.070 Confined Masonry standard.

Keywords: Eco-bricks, sawdust, compressive strength, prisms, rainwater, load-bearing walls.

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

1.1. Planteamiento del Problema

Como resultado del incremento de la población global, la demanda por insumos constructivos ha experimentado un notable auge, lo que amenaza la calidad del medio ambiente. Las industrias del sector ladrillero, que producen materiales de construcción tradicionales, están perdiendo cada vez más competitividad a nivel global. Esto se debe a que sus productos se producen con recursos naturales no renovables, a través de procesos de gran consumo energético y altos niveles de contaminación atmosférica. Por otra parte, esta actividad de producción, genera residuos sólidos inertes, compuestos por los desechos cerámicos derivados de los productos descartados debido a su rotura o inadecuada cocción. Lo mencionado anteriormente, incentiva a explorar el uso y revaloración de estos desechos, que podrían ser reciclados de manera apropiada. (Gallón et al, 2018).

En América Latina, la eliminación final de aserrín y demás residuos, es un inconveniente creciente en la industria maderera, dado que en los aserraderos se generan grandes volúmenes de aserrín, En México, la producción anual de madera, alcanza cerca de 8 M de m³. El 70% de esta cantidad, se aplica a la industria del aserrío, produciendo aproximadamente 2.8 M de m³ de residuos, en su mayoría aserrín, virutas y cortezas. Hoy en día, la gestión de estos desechos constituye un desafío, ya que se utilizan principalmente como fuente de energía, perjudicando el medio ambiente, produciendo polvo en el aire y favoreciendo a la liberación de dióxido de carbono (CO₂) en el aire. (Madueño et al, 2017).

En el territorio peruano, el gremio maderero prospera predominantemente en la región amazónica, produciendo grandes cúmulos de desechos que son tratados de manera negligente, contaminando el entorno y ocasionando grandes pérdidas, afectando negativamente al medio ambiente. (López et al., 2017).

Los ladrillos ecológicos se utilizan con éxito en la edificación de muros de apoyo (portantes), que son elementos de construcción homogénea o compuesta, diseñadas para soportar las cargas impuestas por los pisos y techos. Si son lo suficientemente rígidos, pueden funcionar como muros de corte y transferir las fuerzas laterales del viento y sísmicas a la cimentación del suelo (Ching, 2014, p. 146).

En Cajamarca, los residuos de ladrillo, el aserrín generado por la industria maderera y el agua de lluvia se desaprovechan, a pesar de su potencial para ser utilizados en materiales innovadores como los ecoladrillos. Sin embargo, no existen suficientes estudios que evalúen su viabilidad técnica, lo que restringe su aplicación en la construcción de muros de carga (portantes).

La falta de tecnologías adecuadas, el escaso conocimiento técnico sobre las propiedades de los ecoladrillos y la ausencia de políticas locales que promuevan la economía circular en la construcción son factores que han impedido el aprovechamiento eficiente de estos materiales reciclados.

Este contexto provoca la acumulación de desechos en el ambiente, incrementando la contaminación y desperdiciando materiales con un alto potencial de reutilización.

En la presente tesis se pretende, mediante el uso de materiales reciclables como residuo de ladrillo, aserrín, y agua de lluvia, elaborar eco-ladrillos, para luego, en el laboratorio determinar las propiedades tanto físicas como mecánicas y medir su desempeño.

1.2. Formulación del Problema

¿Los ecoladrillos fabricados con residuos de ladrillo, aserrín, cemento puzolánico IP y agua de lluvia cumplirán con las propiedades físicas y mecánicas señaladas la norma E.070 - Albañilería para ladrillos de Tipo V y en la NTP 399.601 para ladrillos de concreto de Tipo 17?

1.3. Hipótesis

Los ecoladrillos fabricados con residuo de ladrillo, aserrín, cemento puzolánico IP y agua de lluvia, cumplen con las propiedades físicas y mecánicas señaladas en la norma E.070 - Albañilería para ladrillos de Tipo V y en la NTP 399.601 para ladrillos de concreto de Tipo 17.

1.4. Justificación de la Investigación

La elaboración de ecoladrillos con residuos de ladrillo, aserrín, cemento puzolánico IP y agua de lluvia, permitirá adquirir soluciones sustentables en el ámbito de la construcción. Aprovechando materiales reciclados y de bajo impacto, se busca dar valor a residuos como aserrín, ladrillos desechados u otros y de esta manera reducir el impacto ambiental. La producción de ecoladrillos ofrece la posibilidad de reutilizar materiales existentes y convertirlos en productos útiles para la construcción.

1.5. Delimitación de la Investigación

- La investigación se ejecutó en la región de Cajamarca, provincia de Cajamarca, distrito de Cajamarca, Perú.
- Se realizó la elaboración de ecoladrillos utilizando residuos de ladrillo King Kong recolectados de la ladrillera “Cerámicos Cajamarca SRL”, y aserrín de madera de pino.
- Se utilizó el cemento Puzolánico Tipo IP Multi-propósito Yura para la elaboración del eco-ladrillo.
- Se adquirieron los agregados de la cantera “Chilete”, situada en Cajamarca.
- Se realizó el diseño de la mezcla reemplazando el agregado grueso en su totalidad por residuo de ladrillo triturado (tamizado y con TMN $\frac{3}{4}$ ”) y reemplazando un 10% de agregado fino por aserrín de madera de pino.

- Se consideró la elaboración de ecoladrillos mediante diseño de mezcla ACI, para obtener la proporción de la mezcla.

1.6. Limitaciones

- No se determinó el esfuerzo cortante en muretes, ya que no se completó el ensayo a compresión diagonal en muretes de 60.5x60.5 cm, se impuso una carga máxima de 15 Tn, en tres de los muretes, puesto que la maquina tiene un máximo de 20 Tn de capacidad, se decidió no aplicarle más carga por seguridad.

1.7. Objetivos

1.7.1. Objetivo general

- Determinar las propiedades físicas y mecánicas de los ecoladrillos para muros portantes fabricados con residuos de ladrillo, aserrín, cemento puzolánico IP y agua de lluvia.

1.7.2. Objetivos específicos

- Determinar la resistencia a la compresión de ecoladrillos fabricados con residuo de ladrillo, aserrín, cemento puzolánico IP y agua de lluvia.
- Determinar las propiedades de los ecoladrillos como variabilidad dimensional, alabeo y absorción de agua.
- Determinar la resistencia a la compresión axial de pilas de ecoladrillos fabricados con residuo de ladrillo, aserrín, cemento puzolánico IP y agua de lluvia.
- Determinar la proporción de componentes de la mezcla para la preparación de ecoladrillos para muros portantes.

1.8. Organización de la Tesis

Capítulo I: INTRODUCCIÓN

Este apartado presenta, la formulación del problema, las hipótesis, el planteamiento del problema, justificación de esta investigación, los alcances, los objetivos y la estructuración de la tesis.

Capítulo II: MARCO TEÓRICO

Este apartado desarrolla los antecedentes intelectuales de indagaciones previas, que aportan a un estudio más exhaustivo del problema investigado y su trascendencia. Asimismo, se abordan las bases teóricas que sustentan el análisis y favorecen la interpretación del tema abordado, también la aclaración de nociones básicas para una mejor asimilación del progreso de la investigación.

Capítulo III: MATERIALES Y MÉTODOS

Comprende: la localización geográfica y el periodo de estudio; adicionalmente, se especifica cada fase del experimento, los procedimientos y técnicas a utilizar; finalmente, el tratamiento y evaluación de los datos de las variables.

Capítulo IV: ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Contempla: detallar, aclarar y argumentar los resultados recopilados, alineándolas con las metas u objetivos inicialmente propuestas; se desglosan los hallazgos recurriendo a la información fundamentada en el marco teórico y los antecedentes teóricos.

Capítulo V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Involucra: las conclusiones basadas en cada meta u objetivo de la investigación; adicionalmente, el investigador sugiere elementos que necesitan ser analizados para continuar expandiendo el entendimiento del problema de investigación que, debido a la característica particular de su tesis, él no contempló.

CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes Teóricos

2.1.1. Antecedentes Internacionales

Ekhuemelo et al. (2016) en su indagación titulada “Propiedades Físicas y de Resistencia de Ladrillos Producidos a partir de Cemento Portland y Aserrín”, fabricaron bloques utilizando arena, cemento Portland y aserrín. Se emplearon proporciones de mezcla de 1:8 (cemento-arena) y diferentes porcentajes de reemplazo de aserrín: 0%, 5%, 10%, 15% y 20%. Los bloques se moldearon con una máquina vibratoria y se curaron durante 28 días. Los hallazgos precisaron que la resistencia a la compresión del ladrillo del 100% de arena fue de 2,81 N/mm², seguido de un 95% de sustitución de arena y un 5% de aserrín con 1,58 N/mm²; sustitución del 90% de arena y el 10% de aserrín con 0,55 N/mm²; 85% de sustitución de arena y 15% de aserrín con 0,43 N/mm² y 80% de arena 20% de sustitución de aserrín con 0,24 N/mm². El resultado mostró además que la resistencia a la compresión de los bloques con una sustitución de SD del 5 % satisfizo el Código de construcción de Ghana para muros que no soportan carga.

Nunung et al. (2022) en su indagación titulada “Resistencia a la Compresión del Concreto Utilizando Residuos de Ladrillo Ligero como Sustituto del Agregado Fino”, evaluó el uso de residuos de ladrillos como sustituto del agregado fino en la resistencia a la compresión del concreto, siguiendo la Norma SNI 03-2834-2002. Se analizaron sustituciones del 0%, 10%, 20% y 30% de residuos de ladrillos. Las pruebas de resistencia a la compresión se realizaron a los 7, 14 y 28 días, utilizando análisis de regresión simple para determinar el impacto del uso de residuos de ladrillo en la resistencia del concreto. Los resultados expusieron que la máxima resistencia a compresión (24.45 MPa) se alcanzó con un 10% de sustitución, mientras que la mínima (18.03 MPa) se obtuvo con un 30% de sustitución. El análisis de regresión reveló que el usar residuos de ladrillo afecta significativamente la resistencia a la compresión del concreto a 28 días, explicando el 64,8% de la variabilidad.

Aguilar (2017) en su tesis “Fabricación de bloques ecológicos a base de material producto de la construcción”, concluyó que los ladrillos ecológicos estudiados en esta investigación cumplen con los parámetros de calidad que establece la norma mexicana, su comportamiento final demuestra que puede ser usado sin ningún problema en el sector construcción, tanto el costo de producción como su uso en construcción de dichos ladrillos ecológicos hacen que sea una excelente alternativa económica en el sector de la construcción.

2.1.2. Antecedentes Nacionales

Chino & Mathios (2020) en su indagación “Elaboración de ladrillos ecológicos a base de plásticos PET reutilizados y aserrín de la especie Huayruro (*Ormosia coccinea*) de las industrias madereras en Ucayali, Perú”. Confeccionaron bloques ecológicos empleando polímeros tereftalato de etileno reciclados (PET) y aserrín de la especie huayruro (*Ormosia coccinea*), subproductos de las industrias forestales en la ciudad de Ucayali. El propósito consistió en obtener la proporción óptima de mezcla y corroborar su fiabilidad en términos de solidez. Para ello, se establecieron cuatro configuraciones experimentales con variaciones en la mezcla PET-Aserrín: 100%-0%, 98%-2%, 96%-4% y 94%-6%. Posteriormente, la mezcla fue comprimida en una prensa mecánica manual, aplicando una leve fuerza para minimizar la formación de cavidades de aire y fisuras. Se evaluaron las características físicas de los ladrillos PET-Aserrín conforme a la Normativa Técnica de Construcción E.070 Albañilería (NTP E.070). Finalmente, se determinó que el tratamiento número cuatro (94%-6%) exhibe la mayor capacidad de resistencia, clasificándolo como un bloque no portante, apto exclusivamente para aplicaciones no estructurales.

Delgado (2022) en su tesis “Propiedades físico-mecánicas de los ladrillos ecológicos adicionando aserrín en muros no estructurales, Chiclayo, Lambayeque 2020”, realizó pruebas físicas y mecánicas en el eco-ladrillo, añadiendo 0.5%, 1%, 1.5%, 2% y 3% de aserrín a cada uno. Las pruebas indicaron que añadir un 0.5% de aserrín incrementó tanto la resistencia como

la densidad, en cambio, añadir entre un 1% y un 3% de aserrín incrementó la absorción de agua y la succión. Se determinó que la incorporación de aserrín tiene un impacto positivo en las características físicas y mecánicas de los eco-ladrillos.

2.1.3. Antecedentes Locales

Tantaleán (2022) en su tesis “Evaluación del ladrillo artesanal adicionando aserrín y cáscara de arroz, Bambamarca”, determinó que la resistencia a compresión de los ladrillos merma al aumentar la proporción de aserrín o cáscara de arroz; para los ladrillos con incorporaciones en porcentaje de 0,2,5,7 y 10% de aserrín, se alcanzaron resistencias a la compresión de 39.92, 39.20, 37.43, 36.84 y 35.98 kg/cm², respectivamente. Por otro lado, en los ladrillos que incorporó 0, 2, 5,7 y 10% de cáscara de arroz, las resistencias a la compresión se situaron en 39.92, 38.05, 37.06, 36.24 y 35.64 kg/cm², en ese orden. A medida que el porcentaje de desechos (aserrín y cáscara de arroz) en la mezcla se incrementó, la resistencia axial en pilas y la resistencia al corte diagonal en muros, se redujo. Finalmente, se determinó que, de acuerdo con la norma E.070, los ladrillos con aserrín, como los con cáscara de arroz no alcanzaron la resistencia necesaria para los ladrillos de la categoría I (50 kg/cm²).

2.2. Bases Teóricas

2.2.1. Muro Portante

De acuerdo con San Bartolomé (2018), los muros portantes o de carga, son componentes estructurales de una construcción. Estos muros se encuentran expuestos a cualquier tipo de carga, tanto internas como perpendiculares a su plano, ya sean verticales o laterales, así como de carácter permanente o transitorio.

De acuerdo con la Norma E-0.70 de Albañilería, un muro portante o muro de carga es una pared proyectada y edificada para trasladar cargas horizontales y verticales de un nivel al nivel inferior o a la base. Estas paredes constituyen la organización de un edificio de mampostería y deben preservar la prolongación en el plano vertical.

2.2.2. Ladrillo Ecológico

Según Pérez (2023), el ladrillo ecológico, llamado también verde o sustentable, es un material creado específicamente para mermar el impacto en el medio ambiente. En contraste con los bloques tradicionales, estos ejemplares se producen con componentes menos contaminantes. Además, su fabricación no produce contaminación ni desechos, utilizando procedimientos que reducen el uso de energía durante la obtención de materias primas. Además, estos ladrillos desempeñan las mismas funciones que los ladrillos clásicos en el sector de la edificación. Se emplean en una extensa variedad de proyectos de arquitectura, desde la edificación de hogares hasta estructuras comerciales y públicas. También, se emplean en la restauración y rehabilitación de lugares turísticos, y en proyectos de edificación en zonas rurales y áreas de esparcimiento. Hasta ahora, hemos evidenciado que los eco-ladrillos son una alternativa sobresaliente para su uso en cualquier tipo de edificación. No obstante, vamos a analizar los pros y contras que este material ofrece.

2.2.2.1. Ventajas. De acuerdo con Pérez (2023), Entre las ventajas podemos encontrar las siguientes:

- **Impacto ambiental reducido:** Poseen un menor consumo de energía, reducen el uso recursos naturales, producen menor emisión de CO₂ y evitan la utilización de productos contaminantes.
- **Aislamiento:** Por lo general, proporcionan un nivel más alto de protección termoacústica en comparación con los ladrillos tradicionales.
- **Estética:** Son una alternativa estética más apropiada para algunos estilos de edificación, como las construcciones rústicas o rurales, dado que ofrecen un aspecto más auténtico.
- **Ahorro económico:** Al fabricarse con materiales de desecho y métodos de fabricación artesanal, resultan en un costo de producción más bajo.

2.2.2.2. Desventajas. De acuerdo con Pérez (2023), entre las desventajas podemos mencionar las siguientes:

- Variedad Decorativa Limitada: Por su reciente aparición en el mercado, los ecoladrillos ofrecen un abanico más restringido de alternativas decorativas en comparación con los bloques convencionales.

De acuerdo con Pérez (2023), por lo general, las ventajas de los eco-ladrillos superan las desventajas, pues brindan beneficios tanto para el medio ambiente como para las construcciones en aspectos de eficiencia energética, estética y sostenibilidad ambiental.

2.2.3. Aserrín

De acuerdo con Pérez (2021), el término aserrín se refiere a las pequeñas partículas generadas al cortar madera con una sierra. Es decir, que se consigue a través de la modificación de la madera al ser aserrada.

2.2.3.1. Características del Aserrín de Pino. En un estudio realizado sobre la caracterización del aserrín de distintos tipos de madera, se determinaron las propiedades del aserrín de pino, como indica la tabla que sigue:

Tabla 1

Características del aserrín de pino

Característica	Valor	Análisis de tamaños	
Contenido de humedad (%)	15.5	Tamaño (mm)	% en peso
Densidad aparente (kg/m ³)	167	Mayor que 4	2.29
Valor Calorífico (MJ/kg)	17.86	15.5	2.32
Análisis elemental (%/peso total)		15.5	6.6
C	50.65	15.5	9.62
H	6.03	15.5	17.87
N	0.14	15.5	23.13
O (por diferencia)	43.18	Menor a 0.84	18.24

Nota. Tomado de “Caracterización del aserrín de distintos tipos de madera” (p.471), por Serret-Guasch et al., 2016, Tecnología Química., 36(3).

2.2.4. Unidades de Albañilería

Según la Norma Técnica E-070, un ladrillo se define como un elemento cuya dimensión y masa posibilitan su manejo con una sola mano. Un bloque, en contraste, se describe como un componente que, debido a su envergadura y peso, exige el uso simultáneo de ambas extremidades superiores para ser manipulado. Los elementos de mampostería abarcados por esta normativa incluyen ladrillos y bloques confeccionados a partir de arcilla, silicato cálcico o concreto como insumos primarios. Pueden ser compactas, perforadas o cilíndricas, y su fabricación puede realizarse artesanalmente o mediante procesos industriales. Las piezas de mampostería elaboradas con concreto se usarán únicamente tras alcanzar el nivel estipulado de resistencia y el nivel estipulado de solidez de volumen. En el caso de las piezas sometidas a curado, el intervalo mínimo requerido antes de su utilización será de 28 días.

2.2.4.1. Clasificación para Fines Estructurales. De acuerdo la NTP 399.601 2016. UNIDADES DE ALBAÑILERÍA. Ladrillo de concreto. Requisitos y la Norma Técnica E-070, respectivamente, para fines estructurales, las piezas de mampostería poseerán las propiedades detalladas en las tablas que a continuación se presentan:

Tabla 2

Requisitos de resistencia y absorción

Tipo	Resistencia a la compresión, mín., MPa, respecto al área bruta promedio		Abs. de agua, máx., % (Promedio de 3 unidades)
	Promedio 3 unidades	Unidad Individual	
24	24	21	8
17	17	14	10
14	14	10	12
10	10	8	12

Nota. Tomado de NTP 399.601 2016. UNIDADES DE ALBAÑILERÍA. Ladrillos de concreto. Requisitos.

Tabla 3*Clase de unidad de albañilería para fines estructurales*

TABLA 1: CLASE DE UNIDAD DE ALBAÑILERÍA PARA FINES ESTRUCTURALES					
CLASE	VARIACIÓN DE LA DIMENSIÓN (máxima en porcentaje)			ALABEO (máximo en mm)	RESISTENCIA CARACTERÍSTICA A COMPRESIÓN f'_b mínimo en MPa (kg/cm ²) sobre área bruta
	Hasta 100 mm	Hasta 150 mm	Más de 150 mm		
	Ladrillo I	± 8	± 6		
Ladrillo II	± 7	± 6	± 4	8	6,9 (70)
Ladrillo III	± 5	± 4	± 3	6	9,3 (95)
Ladrillo IV	± 4	± 3	± 2	4	12,7 (130)
Ladrillo V	± 3	± 2	± 1	2	17,6 (180)
Bloque P (1)	± 4	± 3	± 2	4	4,9 (50)
Bloque NP (2)	± 7	± 6	± 4	8	2,0 (20)

Nota. (1) Bloques empleados en construcciones de muros portantes, (2) Bloques usados en edificios de muros no portantes. Tomado de Reglamento Nacional de Edificaciones, Norma E.070 Albañilería, 2006.

2.2.4.2. Limitaciones en su Aplicación. De acuerdo a la Norma Técnica E.030, el uso de unidades de mampostería estará condicionado por la información proporcionada en la Tabla 4. Las zonas sísmicas son las indicadas en esa norma.

Tabla 4*Limitaciones en el uso de la unidad de albañilería para muros confinados*

TIPO	ZONA SÍSMICA 2, 3 Y 4		ZONA SÍSMICA 1
	Muro portante en edificios de 4 pisos a más	Muro portante en edificios de 1 a 3 pisos	Muro portante en todo edificio
Sólido Artesanal*	No	Sí, hasta dos pisos	Sí
Sólido Industrial	Sí	Sí	Sí
Hueca	No	No	Sí
Tubular	No	No	Sí, hasta 2 pisos

Nota. *Las limitaciones señaladas establecen condiciones mínimas que pueden ser excluidas con el respaldo de un informe y memoria de cálculo respaldada por un ingeniero civil. Tomado de Reglamento Nacional de Edificaciones , Norma E.070 Albañilería, 2006.

2.2.4.3. Pruebas. Se realizarán de acuerdo a la Norma E.070, se harán las siguientes pruebas:

a) Resistencia a la Compresión. Para determinar la resistencia a la compresión de los elementos de albañilería, se harán las pruebas en laboratorio correspondientes, de acuerdo con las directrices proporcionadas en las Normas NTP 399.613 y 399.604.

b) Variación Dimensional. Para determinar la variación dimensional de las unidades de mampostería, se procederá conforme a lo descrito en las Normas NTP 399.613 y 399.604, las cuales especifican los métodos de medición y los criterios necesarios para evaluar los cambios dimensionales de las unidades.

c) Alabeo. Para calcular el alabeo de las unidades de mampostería, se aplicará el procedimiento descrito en la Norma NTP 399.613, que especifica los métodos para medir la deformación de sus superficies.

d) Absorción. Las pruebas de absorción se harán de acuerdo con las pautas especificadas en las Normas NTP 399.604 y 399.613.

2.2.5. Cemento Puzolánico IP

Según Urbina (2022), el cemento puzolánico es un tipo de cemento hecho de clínker, puzolana (natural o artificial, en proporciones que varían del 15% al 40%) y una menor cantidad de yeso (del 2% al 3%). La puzolana es una roca reactiva y porosa que proporciona una excelente resistencia a las condiciones climáticas y a los sulfatos. Es ideal para su uso en climas cálidos, ya sea en estucos, morteros, pavimentos o concreto. Es más impermeable que el cemento Portland, lo que disminuye la exudación y la segregación.

En un estudio realizado por Rodríguez, B., León, R. & Romero, J. (2012) en su artículo Comparación técnica, económica y ambiental de los cementos cubanos Portland P-350 y PP-250 con sus semejantes puzolánicos PP-350 y PZ-250, examinaron que el principal impacto en el proceso de elaboración, es la producción de Clinker. En consecuencia, las medidas de mejora se centran en reducir su uso sustituyéndolo por puzolanas. Como resultado de su trabajo, encontraron que añadir puzolanas al cemento reduce el uso de Clinker, disminuyendo así el impacto ambiental de su fabricación.

2.2.6. Agua de Lluvia

Según Rodríguez (2021), el agua lluvia surge de las nubes que se generan en el cielo cada día a causa de variaciones en la presión atmosférica, la temperatura o la humedad del entorno. En su estudio logró resultados sobre los parámetros fisicoquímicos del agua de lluvia, y concluyó que no presenta alteraciones significativas que impidan su uso en diversas actividades humanas. Por lo tanto, puede ser utilizada para la producción de mezclas de concreto.

2.2.6.1. Captación de Agua de Lluvia. Según Rodríguez (2021), los elementos precisos para la recolección de agua de lluvia son:

- Zona de Acopio: Superficie destinada a la recolección del flujo pluvial, comúnmente integrada por techumbres de viviendas, instituciones educativas, depósitos y edificaciones similares.
- Estructura de captación: Recoge agua en sistemas de drenaje pluvial, utilizando pozos de sumidero para esta tarea.
- Mecanismo de Conducción: Red de canales o conductos fabricados en diversos materiales y configuraciones, encargados de trasladar el líquido pluvial desde el área de acopio hasta la infraestructura de resguardo.
- Sistema de Purificación y Filtrado: Conjunto de implementos colocados previos al depósito, destinados a depurar y eliminar impurezas o agentes contaminantes presentes en el agua.
- Tanques de almacenamiento: Para almacenar el agua recolectada de manera segura
- Vertedor: Elemento estructural de un sistema hidráulico de almacenamiento que permite liberar excedentes cuando el volumen supera la capacidad del embalse, evitando así fallos estructurales por rebosamiento.

De acuerdo a la NTP 339.088 (2021) la siguiente tabla muestra los límites químicos opcionales para el agua de mezcla combinada:

Tabla 5*Límites químicos opcionales para el agua de mezcla combinada*

	Límite	Métodos de Ensayo
Concentración máxima en el agua de mezcla combinada, ppm		
A. Cloruro como Cl ⁻ , ppm		
1 En concreto pretensado, tableros de puentes, o designados de otra manera.	500	NTP 334.086
2 Otros concretos reforzados en ambientes húmedos o que contengan aluminio embebido o metales diversos o con formas metálicas galvanizadas permanentes	1000	NTP 334.086
B. Sulfatos como SO ₄ , ppm	3000	NTP 334.086
C. Alcalis como (Na ₂ O+0,658 K ₂ O), ppm	600	NTP 334.086
D. Sólidos totales por masa, ppm	50 000	ASTM C1603

Nota: Tomado de “CONCRETO. Agua de mezcla utilizada en la producción de concreto de cemento hidráulico. Especificaciones”, NTP 339.088,2021, 4^a Edición, Normas Técnicas Peruanas.

2.2.7. Mortero

La norma E-070 establece que el mortero consistirá en una mezcla de aglutinantes y agregado fino, a la cual se incrementará la cantidad máxima de agua para lograr una mezcla adherente y que pueda trabajarse, sin segregación del agregado. Para la preparación de mortero propuesto a obras de albañilería, se tendrán en cuenta las pautas proporcionadas en las Normas NTP 399.607 y 399.610.

La Norma E-070 define las proporciones volumétricas de la mezcla, clasificándola con la letra P para su uso en muros portantes y NP para su uso en los muros que no cumplan función de soporte.

Tabla 6*Tipos de mortero*

TIPOS DE MORTERO				
TIPO	COMPONENTES			USOS
	CEMENTO	CAL	ARENA	
P1	1	0 a 1/4	3 a 3 1/2	Muros Portantes
P2	1	0 a 1/2	4 a 5	Muros Portantes
NP	1	-	Hasta 6	Muros No Portantes

Nota. Tomado de Reglamento Nacional de Edificaciones, E.070:2006.

2.2.8. Compresión Axial de Pilas de Albañilería (NTP 399.605:2018)

Esta normativa nos brinda la posibilidad de verificar que los materiales empleados en la construcción de albañilería satisfacen la resistencia a compresión requerida. De acuerdo con la Norma Técnica Peruana, una muestra se compone de al menos tres prismas fabricados con el mismo material y verificadas a la misma edad, sometidos a una carga axial. Es necesario elaborar una muestra de prismas para cada mezcla de materiales y cada edad de prueba, con el fin de calcular la resistencia a la compresión de la mampostería. Los prismas deben ser producidos con un mínimo de dos unidades de altura y su relación altura-espesor debe oscilar de 1.3 a 5.0.

2.2.8.1. Tipos de Falla. De acuerdo con San Bartolomé et al. (2018), la naturaleza del fallo y el rendimiento de las unidades de mampostería bajo cargas axiales se ven afectados por la interacción entre las superficies de apoyo de la unidad y el mortero. Ya que el mortero y las unidades poseen rigideces distintas, al ser sometidos a la misma tensión habitual, el material que presenta menos deformaciones (usualmente las unidades) restringe las deformaciones transversales del material más deformable (mortero). Esto provoca tensiones de compresión transversalmente, que producen tensiones de tracción laterales en la unidad y fisuras verticales.

Según San Bartolomé et al. (2018) existen las modalidades de falla siguientes:

- Falla Ideal: Esto ocurre cuando se forma una grieta vertical en la cara con la dimensión más pequeña. (ancho). La grieta atraviesa tanto las unidades como el mortero. Esta falla es causada por la tensión generada por la expansión lateral resultante de la compresión axial aplicada a la pila.
- Falla por trituración: Estas fallas son inesperadas o indeseables debido a su fragilidad y explosividad, en elementos huecos suele ocurrir este tipo de falla.
- Falla por aplastamiento local: Este tipo de falla típicamente ocurre debido al aplastamiento local de las unidades.
- Falla debido al aplastamiento en un área específica de la pila o al pandeo de la misma: Esta falla puede suceder cuando hay efectos desiguales a la compresión pura, generalmente cuando surgen componentes de flexión. A menudo es causada por imperfecciones de construcción, como la desconfiguración geométrica de la muestra, la falta de paralelismo entre las caras de soporte o el desalineamiento entre el eje de carga y el eje longitudinal de la pila.

2.3. Definición de Términos Básicos

Ladrillo ecológico: Los ladrillos ecológicos son aquellos que se fabrican utilizando materiales reciclados o materiales de fuentes renovables, como residuos de construcción, cenizas volantes, cemento de suelo, entre otros (Oliveira, 2021).

Residuo de ladrillo: Residuos sólidos inertes provenientes de los productos del sector ladrillero rechazados por rotura, deficiente cocción o fabricación defectuosa, así como también los residuos del sector de la construcción y demolición (Gallón et al, 2018).

Aserrín: El aserrín es la mezcla de partículas o polvo fino que se desprenden de la madera al cortarla; también incluye minúsculas partículas de madera generadas durante su tratamiento y manejo (Pérez et al, 2018).

Cemento puzolánico: El cemento puzolánico es un tipo de cemento se elaboraba tradicionalmente mediante la molienda de un material de origen volcánico (la pozzolana) con cal hidratada en polvo (Britannica, T. Editors of Encyclopaedia, 2021).

Agua de lluvia: El agua de lluvia es el agua que se forma cuando el vapor atmosférico se condensa y se precipita a la Tierra en forma de gotas. Esta agua es un componente clave del ciclo hidrológico y tiene múltiples aplicaciones, desde la recarga de acuíferos hasta el riego agrícola y la captación para el consumo humano, siempre y cuando sea tratada adecuadamente. (FAO, 2011).

Prismas de albañilería: Los prismas de albañilería son los elementos asentados uno sobre otro en forma de pila, se usan en ensayos para medir la resistencia de la mampostería a la compresión (NTP 399.605, 2018).

CAPÍTULO III. MATERIALES Y METODOS

3.1. Materiales y Equipos

3.1.1. *Materiales*

- Residuo de ladrillo King Kong Tipo IV 18 huecos (preparado y usado como agregado grueso).
- Aserrín de madera de pino.
- Cemento Puzolánico IP.
- Agua de lluvia.
- Agregados para elaboración de ladrillo ecológico de la Cantera “Chilete”.

3.1.2. *Equipos*

- Molde de metal para ladrillos ecológicos de dimensiones: 23, 12 ,9 cm (Largo,Ancho y Altura, respectivamente).
- Vernier.
- Tamices ASTM (1/2, 3/8, N° 4, N° 8, N° 16, N° 30, N° 50, N° 100 y N° 200).
- Cucharón.
- Estufa.
- Nivel de ingeniero.
- Escultura de metal con forma de cono truncado de altura $75\text{mm}\pm 3\text{mm}$ y diámetros interiores superior de $40\text{mm}\pm 3\text{mm}$, e inferior $90\text{mm}\pm 3\text{mm}$ respectivamente.
- Pisón metálico.
- Balanza de capacidad de 30 kg, con precisión de 1 g.
- Picnómetro de 1000 cm³.
- Mesa vibradora para bloques de concreto con potencia de 3HP, motor trifásico, 220V, 50 hertz y 3000 rpm.
- Barra de metal lisa de 16mm de diámetro, de 600mm de longitud.

- Sombrero de metal para Peso Unitario.
- Deformímetro.
- Prensa de compresión hidráulica con una capacidad de 200 toneladas.

3.2. Metodología

3.2.1. Localización

La investigación se llevó a cabo en el departamento, provincia y distrito de Cajamarca, en el Laboratorio de Ensayos de Materiales “M. en I. Carlos Esparza Díaz”, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Cajamarca.

3.2.2. Época de Investigación

La investigación tuvo lugar desde abril del 2024 hasta septiembre del 2024.

3.2.3. Tipo, Nivel, Diseño y Enfoque de la Investigación

- Tipo de Investigación: Es de tipo aplicada, ya que busca generar conocimiento práctico mediante el uso de materiales reciclados (residuo de ladrillo y aserrín) y agua de lluvia para elaborar ladrillos sostenibles, con el fin de resolver problemas específicos relacionados con la sostenibilidad en la construcción.
- Nivel de la Investigación: Descriptivo, porque analiza y describe las propiedades físicas y mecánicas de los ladrillos ecológicos elaborados con los materiales indicados.
- Diseño de la Investigación: El diseño de investigación es no experimental porque se centra en observar y analizar las propiedades físicas y mecánicas de los ladrillos ecológicos fabricados con residuo de ladrillo, aserrín, cemento puzolánico IP, y agua de lluvia, sin manipular deliberadamente las variables independientes. En este tipo de investigación, los materiales utilizados y los procesos de fabricación están establecidos, y no se alteran para ver su efecto sobre los resultados.

- Enfoque de Investigación: El enfoque es cuantitativo, ya que los datos recolectados (como resistencia mecánica, densidad y absorción) se miden objetivamente y se analizan numéricamente

3.2.4. Población

La población está constituida por los ecoladrillos y pilas elaboradas con residuo de ladrillo, aserrín, cemento puzolánico IP y agua de lluvia.

3.2.5. Muestra

La muestra es no probabilística, por conveniencia, se fabricaron 40 ecoladrillos y 5 pilas elaboradas con: residuo de ladrillo, aserrín, cemento puzolánico IP y agua de lluvia. Según NTP 399.613 Métodos de muestreo y ensayo de ladrillos de arcilla usados en albañilería.

Tabla 7

Tamaño de la muestra

Especímenes	Ensayo	Cantidad
Ecoladrillos	Resistencia a la compresión	10
	Absorción	10
	Variabilidad dimensional	10
	Alabeo	10
Pilas		5
Total		45

3.2.6. Unidad de Análisis y Unidad de Observación

Son las características físicas y mecánicas de los ecoladrillos para muros portantes. Los especímenes de ladrillos ecológicos utilizados para muros portantes son la unidad de observación.

3.2.7. Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos

La siguiente tabla presenta las técnicas e instrumentos empleados para la recopilación de datos:

Tabla 8*Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos*

Técnica	Instrumento
Observación directa	Fichas para recopilar datos
Pruebas de laboratorio	Equipos para ensayos (balanza, probetas, juegos de tamices, prensa hidráulica, otros)

3.3. Características Físicas del Residuo de Ladrillo

Para determinar las características físicas del residuo de ladrillos se usaron las normas técnicas peruanas de agregados para concreto; dado que, no hay una norma peruana para determinar las características físicas para dicho material.

3.3.1. Granulometría

Se determinó tomando en cuenta la NTP 400.012.2013 (revisada el 2018) de la siguiente manera:

- Se realizó la selección de material (cuarteo), posteriormente durante 24 horas, la muestra fue secada en un horno a $110\text{ °C} \pm 5\text{ °C}$.
- Se ubicaron los tamices de abertura más grande a más pequeña, y se inició el tamizado manual.
- Se tamizó manualmente durante un tiempo estipulado (generalmente entre 5 y 10 minutos), una vez que se efectuó este requisito se dejó de zarandear. Se procedió a anotar la cantidad retenida en cada tamiz.
- El Tamaño Máximo Nominal se refiere a la abertura del tamiz en el que queda retenido entre un 5% a un 10 % de material.
- El módulo de fineza del agregado grueso se calculó con la siguiente fórmula:

$$MF = \frac{\sum \%Ret. Acum. \left(1 \frac{1''}{2}, \frac{3''}{4}, \frac{3''}{8}, N^{\circ} 4, N^{\circ} 8, N^{\circ} 16, N^{\circ} 30, N^{\circ} 50, N^{\circ} 100 \right)}{100} \quad (1)$$

3.3.2. Contenido de Humedad

Se tomó de referencia las pautas señaladas en la NTP 399.185:2013 (revisada, el 2018)

- Tomamos una muestra de material de residuo de ladrillo representativa (cuarteo). Se debe de tratar que el residuo de ladrillo no contenga partículas impuras. Una vez que se tenga la muestra de residuo de ladrillo no tenga impurezas, se empieza a mezclar uniformemente e ir formados montículos que se irán dividiendo por una cruz, luego se van descartando partes opuestas hasta tener la cantidad requerida.
- Después, la muestra húmeda se pesa junto con el recipiente en el cual se colocó, y se anota el peso. Posteriormente, la muestra (residuos de ladrillo triturado y tamizado) se colocó en un horno a temperatura constante de $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ durante 24 horas.
- Finalmente se dejó enfriar, para poder pesar y registrar la muestra seca una vez extraída del horno, el contenido de humedad (H) se calculó en porcentaje y se aplicó la fórmula que sigue:

$$H = \left(\frac{W - D}{D} \right) \times 100 \quad (2)$$

Donde:

H = Contenido de humedad total de muestra (%).

W = Masa de muestra húmeda original(gr).

D = Masa de muestra seca(gr).

3.3.3. Peso Específico y Absorción

Se procedió teniendo en cuenta la NTP 400.021:2013 (revisada en 2018).

- Se toma muestra de residuo de ladrillo, se coloca en agua a temperatura ambiente por un lapso de 24 horas, para que el agregado absorba la máxima cantidad de agua.

- Luego de la inmersión del residuo de ladrillo en agua, se retira el material y se seca con un paño, sin quitar el agua que logra poder absorber en su interior. Este proceso se hizo de una manera suave y delicada para poder lograr eliminar el agua que está adherida a la superficie solamente. La muestra se pesó seguidamente en una condición de superficie seca saturada.
- Después de registrar dicho peso, en la condición antes mencionada, la masa de residuo de ladrillo (agregado grueso) en ese estado, se coloca en una canasta u otro recipiente y con un mecanismo que incluye la balanza y un sistema de suspensión, la muestra se pesa, cubierta por agua totalmente, y sin tocar ninguna superficie que pueda variar el peso, posteriormente, se determinó y registró su masa bajo el agua.
- Finalmente, la masa de residuo de ladrillo inmersa se lleva al horno a ser secada a temperatura entre 105°C a 115°C por 24 horas, luego que la muestra ha perdido toda la humedad y el recipiente este a una temperatura adecuada para poder ser manejado, se pesa y se anotó la masa seca. Se procede con el cálculo como sigue:

$$P_{ea} = \frac{A}{A - C} \quad (3)$$

$$P_{em} = \frac{A}{B - C} \quad (4)$$

$$P_{eSSS} = \frac{B}{B - C} \quad (5)$$

$$Ab (\%) = \left(\frac{B - A}{A} \right) \times 100 \quad (6)$$

Donde:

P_{ea} = Peso específico aparente (g/cm³).

P_{em} = Peso específico de masa (g/cm³).

P_{eSSS} = Peso específico saturado superficialmente seco (g/cm³).

A = Peso en el aire de la muestra seca en horno (g).

B = Peso de la muestra saturada superficialmente seca en el aire (g).

C = Peso en el agua de la muestra saturada (g).

Ab (%) = Absorción

3.3.4. *Peso Unitario*

Para proceder con el cálculo del peso unitario del material, se tomó en cuenta el método descrito en la norma NTP 400.017:2020, se procede a calcular el volumen del recipiente como sigue:

- Se calculó la masa tanto de la placa de vidrio como del recipiente.
- Se procedió a verter agua en el recipiente a temperatura del ambiente y después se puso un vidrio sobre dicho recipiente, garantizando la eliminación de las burbujas de aire y el sobrante de agua.
- Se documentó la masa de agua, el recipiente y vidrio (placa). Se determinó el volumen del recipiente empleando la fórmula 7.

$$V = \frac{W - M}{D} \quad (7)$$

Donde:

V = Volumen de recipiente, m³.

W = Masa de agua, placa de vidrio + recipiente, kg.

M = Masa de placa de vidrio + recipiente, kg.

D = Densidad de agua para la temperatura medida, kg/m³.

3.3.4.1. Peso Unitario Compactado. Para la determinación del peso unitario compactado se procedió como sigue:

- En primer lugar, se divide la muestra de residuo de ladrillo en partes iguales (cuatro) y luego se empieza a ir quitando dos partes, realizamos dicho proceso hasta que se

obtuvo una cantidad adecuada de residuo de ladrillo. Previamente en el horno se colocó unos 16 kg de residuo de ladrillo para ser secado completamente, por un día.

- Luego se colocó el residuo de ladrillo sobre un molde limpio y seco cilíndrico, dicho depósito cilíndrico fue llenado en tres capas similares. Cada una de las capas fue compactada uniformemente y se le aplicó 25 golpes, los golpes penetraron hasta la capa anterior, y fueron dados con una varilla lisa con diámetro de 16 mm y de acero.
- Una vez que se llenaron las tres capas y se compactaron debidamente, el material que llegó a sobresalir se niveló con regla, de esta manera se aseguró un volumen uniforme de material en el molde. Después se pesó el molde lleno con el material compactado. Esta acción se realizó en una balanza y se incluyó tanto el peso del molde contenedor cilíndrico como el residuo de ladrillo compactado. Finalmente, el peso unitario compactado del residuo de ladrillo, se calculó como:

$$P.U.C = \frac{G - T}{V} \quad (8)$$

Donde:

$P.U.C$ = Peso unitario compactado, kg/m³.

G = Masa del recipiente + muestra compactada, kg.

T = Masa del recipiente, kg.

V = Volumen del recipiente cilíndrico, m³.

3.3.4.2. Peso Unitario Suelto. Para la determinación del peso unitario suelto se procedió como sigue:

- Primero, dividimos una muestra de residuo de ladrillo en partes equivalente (cuatro partes), se inicia a retirar dos partes, y así se procede hasta tener una cantidad de residuo de ladrillo apropiada, previamente colocada en horno, por un día.

- Luego se usó un molde en forma de cilindro para contener el residuo de ladrillo en estado suelto.
- Vertimos el residuo de ladrillo de manera libre sobre el cilindro, de una altura uniforme de 5 cm, el material así se distribuirá naturalmente
- Una vez lleno, con regla o espátula ajustamos y nivelamos el material que sobresalga, y procedemos a pesar tanto el molde contenedor como el material suelto que contiene.
- El peso unitario suelto de residuo de ladrillo se calculó como:

$$P.U.S = \frac{G - T}{V} \quad (9)$$

Donde:

$P.U.S$ = Peso unitario suelto, kg/m³.

G = Masa del recipiente más la muestra, kg.

T = Masa del recipiente, kg.

V = Volumen del recipiente, m³.

3.4. Características Físicas del Aserrín

3.4.1. Granulometría

Se determino mediante la NTP 400.012.2013 (revisada el 2018)

- Se llevó a cabo el ensayo conforme a lo detallado en la parte 3.3.1.

3.4.2. Contenido de Humedad

Se procedió como manifiesta la NTP 399.185:2013 (revisada el 2018).

- El ensayo se llevó a cabo conforme a lo detallado en el apartado 3.3.2.

3.4.3. Peso Específico y Absorción

Para poder llevar a cabo dicho ensayo se tomó en cuenta la norma NTP 400.022:2021 .

- Se escogió en primer lugar una muestra del aserrín (2kg), generada por el proceso de cuarteo.
- El aserrín, luego se sumergió en un depósito con agua por un plazo de 24 horas. Inmediatamente pasado dicho plazo, se extrajo la muestra del agua, para dejar que esta se vaya secando superficialmente.
- El aserrín se fue manipulando para adquirir una mejor uniformización del secado superficial. Este paso es vital, ya que se trata de conseguir que la muestra llegue a la condición conocida como saturada con superficie seca.
- Podemos comprobar la condición mencionada con una prueba del cono truncado, para eso el aserrín tiene que haber sido sumergido y escurrido anteriormente, cuando ya veamos que el aserrín está relativamente seco, preparamos el cono truncado con dimensiones ya mencionadas en la lista de equipos, vertemos el aserrín sobre él, en tres capas y compactando con un pisón pequeño, después que el cono en forma trunca está lleno, se nivela, y con cuidado se saca el cono, si no hay ninguna variación, es decir la figura cónica truncada queda sin ningún cambio, aun no alcanza dicha condición, así que, se continúa con el secado de aserrín. Cuando correctamente se haya alcanzado el estado de la muestra mencionado, al quitar el cono, la muestra debería caer en forma de un montículo, una vez que en el proceso ocurra esto, se procede a afirmar que dicha muestra de aserrín, al fin llego a la condición de saturada con superficie seca. Es decir que el aserrín solo tiene agua en su interior mas no su superficie.
- Después, separamos cuidadosamente 500 g de aserrín saturado con superficie seca y colocamos en un picnómetro que previamente se ha llenado con agua una pequeña parte de su capacidad, después de colocar todo el aserrín, agitar y sacar todas las burbujas que pueda haber de aire, llenamos con agua hasta la marca del picnómetro.

- Realizado el paso anterior, la masa total, del picnómetro, más la muestra de aserrín en la condición indicada y más el agua, se apuntó. Previamente la masa del picnómetro lleno de agua hasta la marca, se había registrado y anotado.
- Después de tener los pesos anteriores, la muestra de aserrín que estaba dentro se saca cuidadosamente, y se coloca al horno durante un plazo de un día, a una temperatura de $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$, transcurrido dicho tiempo la muestra se reirá del horno y se pesa.
- Se procede a realiza los cálculos como se indica y con las fórmulas que siguen:

$$P_e(OD) = \frac{A}{B + S - C} \quad (10)$$

$$P_e(SSD) = \frac{S}{B + S - C} \quad (11)$$

$$P_{ea} = \frac{A}{B + A - C} \quad (12)$$

$$Ab (\%) = \left(\frac{S - A}{A} \right) \times 100 \quad (13)$$

Donde:

$P_e(OD)$ = Peso específico secado al horno, (g/cm³).

$P_e(SSD)$ = Peso específico saturado con superficie seco, (g/cm³).

P_{ea} = Peso específico aparente, (g/cm³).

A = Masa de la muestra secada al horno, (g).

B = Masa de picnómetro con de agua hasta la marca, (g).

C = Masa de picnómetro lleno de muestra y agua hasta la marca(g).

S = Masa de la muestra saturada con superficie seca (g).

$Ab (\%)$ = Absorción

3.4.4. *Peso Unitario*

Para determinarlo, se tomó en cuenta el método descrito en la norma NTP 400.017:2020.

- Se llevó a cabo conforme a lo detallado en el acápite 3.3.4.

3.5. Características Físicas de la Arena para Elaboración de Ecoladrillos y Arena para Mortero.

3.5.1. *Granulometría*

Se determino tomando como base la NTP 400.012.2013(revisada el 2018)

- Se llevó a cabo conforme a lo detallado en el acápite 3.3.1.

3.5.2. *Contenido de Humedad*

Se procedió como dicta la NTP 399.185:2013(revisada el 2018).

- Se efectuó como indican las instrucciones del acápite 3.3.2.

3.5.3. *Peso Específico y Absorción*

En base a la norma NTP 400.022:2021 , que dictamina el método las reglas para obtener densidad, peso específico y absorción del agregado fino.

- Se efectuó el ensayo (prueba) de acuerdo con lo expuesto en el apartado 3.4.3.

3.5.4. *Peso Unitario*

Para calcularlo, se empleó el procedimiento especificado en la NTP 400.017:20.

- Se efectuó la prueba o ensayo de acuerdo con lo detallado en el apartado 3.3.4.

3.6. Propiedades del Cemento Pozolánico IP

Se trabajó con cemento pozolánico IP - YURA, Las características de este cemento se ajustan a la NTP 334.090 y se describen en su ficha técnica (Anexo 06).

3.7. Propiedades del Agua de Lluvia

El agua de lluvia fue recolectada en recipientes proporcionados por el Laboratorio Regional del Agua y analizada en sus instalaciones, para determinar sus propiedades y comprobar su conformidad con los parámetros de la NTP 339.088 para su uso en la mezcla.

3.8. Ecoladrillo Fabricado con Residuo de Ladrillo, Aserrín, Cemento Puzolánico IP y Agua de Lluvia

3.8.1. Dimensiones del Ladrillo

Las dimensiones usadas en el diseño de los eco-ladrillos son estándar en el mercado: 23 x 12 x 9 cm para longitud, ancho y altura, respectivamente. La resistencia a la compresión $f'c = 180 \text{ kg/cm}^2$, el mínimo requerido para un ladrillo Tipo V y Clase 17 según norma de bloques de concreto, fue elegida para asegurar una gran durabilidad para la unidad de mampostería, con el objetivo de competir con los ladrillos de gran durabilidad presentes en el mercado de nuestra nación.

3.8.2. Dosificación de Mezcla para la Elaboración del Ecoladrillo

La proporción de mezcla para la producción del eco-ladrillo se determinó utilizando el método ACI, ya que actualmente no existe un estándar que especifique el diseño de mezcla para eco-ladrillos (Anexo 08).

3.8.3. Procedimiento para la Elaboración del Ecoladrillo

3.7.3.1. Mezclado y Moldeado. Se realizaron los pasos siguientes:

- Se calculó el peso de cada material corregido por humedad. Luego, las cantidades de cemento, aserrín, residuos de ladrillo, arena y el volumen de agua fueron pesados y medidos.
- El residuo de ladrillo, junto al cemento, aserrín de pino, y arena, se vertieron a una mezcladora y se combinó hasta tener la mezcla con textura uniforme; luego de unos

minutos, se agregó el agua a la mezcla, se continuó con el proceso, hasta que no haya grumos ni sequedad de ciertas zonas.

- La mezcla una vez lista, se colocó en el molde de metal posicionado sobre una vibradora, y se encendió dicho aparato. La mezcla se niveló eliminando el exceso, y la vibración continuó hasta que los componentes se puedan asentar y posicionar de manera adecuada en el molde, evitando así vacíos.
- El molde fue retirado y trasladado a una superficie plana.
- El ladrillo fue desmoldado con cuidado para evitar deformaciones. El molde se retiró verticalmente, y el ladrillo reposó durante 24 horas.

3.7.3.2. Curado. Se procedió como sigue:

- Después de 24 horas de fabricar las muestras, comenzó el curado.
- El riego se realizó tres veces al día para mantener los ladrillos durante una semana en condición de húmedos.
- Después de 28 días de curado, los ladrillos alcanzaron su resistencia final.

3.7.3.3. Acopio. El procedimiento fue el siguiente:

- Se apilaron los ladrillos bajo el techo, la altura de las pilas no excedió los 1.5m.

3.9. Características Físicas y Mecánicas del Ecoladrillo

Se aplicaron los procedimientos establecidos en la norma NTP 399.604:2002 (revisada el 2015), para la toma de muestras y pruebas de unidades de mampostería de concreto.

3.9.1. Resistencia a la Compresión

Se seleccionaron 10 ecoladrillos secos y limpios. Luego se miden ambas caras que estarán en conexión con las placas. Se verifica que la máquina esté en buen estado. Posteriormente se ubican y centran las unidades en la máquina. Finalmente se comienza a aplicar una carga gradual a la unidad hasta el momento que ocurrió la falla, y se registró la carga máxima ejercida antes de la ruptura.

$$A_G = L_G \times W_G \quad (14)$$

$$f_B = \frac{P_{Max}}{A_G} \quad (15)$$

Donde:

A_G = Área bruta del espécimen (mm²).

L_G = Longitud prom. del espécimen (mm).

W_G = Ancho prom. del espécimen (mm).

f_B = Esfuerzo a compresión (MPa).

P_{Max} = Carga de compresión máxima (N).

3.9.2. Variación Dimensional

Se seleccionaron 10 ecoladrillos. Luego, se miden los tamaños exactos de cada espécimen largo (L), ancho (A) y altura (H) con aproximación de 1 mm, para luego compararlos con las medidas detalladas para su fabricación.

$$V (\%) = \left(\frac{D_F - D_P}{D_F} \right) \times 100 \quad (16)$$

Donde:

V = Variación dimensional (%).

D_F = Dimensión de fábrica (mm).

D_P = Dimensión promedio (mm).

3.9.3. Alabeo

Se seleccionaron 10 ecoladrillos representativos limpios y secos. Luego se mide el alabeo de los ecoladrillos con una cuña de medición graduada al milímetro, de la siguiente manera:

- Para una distorsión de superficie cóncava, la varilla se coloca con un borde recto, ya sea longitudinalmente o en diagonal, a lo largo de la superficie cóncava del eco-

ladrillo, luego se mide en la flecha máxima con la cuña y se anota dicha dimensión. Siendo esta medida la distorsión cóncava del ecoladrillo.

- Para una distorsión de superficie convexa, la superficie convexa del eco-ladrillo se coloca sobre una superficie lisa, asegurando que los bordes de la superficie convexa estén a la misma distancia de la superficie plana. Posteriormente se usa la cuña para medir la distancia de las cuatro esquinas respecto de la superficie lisa. Siendo el promedio de estas longitudes medidas la distorsión convexa del ecoladrillo.

3.9.4. Absorción

Se seleccionaron 10 ecoladrillos para determinar esta propiedad y se procedió de la siguiente manera:

- Se introdujo el ecoladrillo en agua por 24 horas. Luego se sacaron los ecoladrillos del agua, se los dejó drenar, se secaron con una franela y se documentó su peso. Posteriormente se introdujeron los ecoladrillos en un horno a temperatura de $110\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ por un lapso de 24 horas.
- Una vez que los ecoladrillos secos adquieren un peso contante se prosigue con el ensayo.
- Los pesos de los ecoladrillos secos fueron anotados.

$$Ab (\%) = \left(\frac{W_S - W_D}{W_S} \right) \times 100 \quad (17)$$

Donde:

$Ab (\%) =$ Absorción

$W_S =$ Peso saturado del de ecoladrillo (kg).

$W_D =$ Peso seco al horno del ecoladrillo (kg).

3.10. Resistencia a Compresión del Mortero

Según la NTP 399.621:2018, se deben preparar un mínimo de tres cubos de 5 cm de lado para determinar la resistencia a compresión del mortero utilizado para realizar los prismas (pilas). Los cubos deben almacenarse bajo las mismas condiciones que los prismas y probarse el mismo día en que se prueban los prismas (pilas).

3.11. Propiedades de los Prismas de Albañilería

Las NTP determinan los protocolos para la preparación y prueba de prismas.

3.11.1. Compresión Axial de Pilas de Albañilería (NTP 399.605:2018)

De acuerdo a la NTP 399.605:2018, se especifica la prueba a realizar en los prismas, la cual sirve para determinar su resistencia a la compresión.

- Se construyeron con una altitud de tres hiladas, cumpliendo con el requisito de relación alto/espesor, h_p/t_p , que debe estar entre 1.3 a 5.0.
- Los prismas fueron refrentados, y antes de la prueba, se aseguró que estuvieran libres de humedad. Se probaron a los 28 días de edad.
- La muestra fue sometida a una carga hasta que se logró determinar el modo de fallo, y se midió el límite de la carga.
- La resistencia de la pila de mampostería se obtuvo al dividir el peso(carga) máxima tolerada por la muestra entre su área bruta.
- La resistencia a compresión de la mampostería f_{mt} , se calculó multiplicando por F_c que depende de la relación h_p/t_p , el F_c fue determinado al interpolar los valores de la Tabla 64.
- Finalmente, la resistencia a compresión de la mampostería f_{mt} , para el conjunto de prismas se calculó como sigue:

$$A_G = L_G \times W_G \quad (18)$$

$$f_m = \frac{P_{Max}}{A_G} \quad (19)$$

$$f_{mt} = f_m \times F_c \quad (20)$$

Donde:

A_G = Área bruta de la muestra (prisma), (mm²).

f_m = Resistencia específica a compresión de albañilería (MPa).

f_{mt} = Resistencia de prisma de albañilería (MPa).

P_{Max} = Carga de compresión máxima (N).

L_G = Longitud promedio del prisma(mm).

W_G = Ancho promedio del prisma (mm).

F_c = Factor de corrección.

3.12. Presentación de resultados

Las propiedades físicas de los agregados, propiedades químicas del agua de lluvia, así como el diseño de mezcla, y las propiedades físicas y mecánicas de los ecoladillos se presentan a continuación:

3.12.1. Propiedades Físicas del Residuo de Ladrillo (Agregado Grueso)

En la tabla 9 se muestran los resultados de las propiedades físicas del residuo de ladrillo (agregado grueso). Cada una de las propiedades físicas del residuo de ladrillo (agregado grueso) y con más detalle se encuentra en los Anexos (Anexo 02).

Tabla 9*Propiedades físicas del residuo de ladrillo (Agregado Grueso)*

Propiedades del residuo de ladrillo	Unidad	Resultados
Módulo de fineza	-	6.81
Peso unitario seco compactado	g/cm ³	1.10
Peso unitario suelto seco	g/cm ³	1.01
Peso específico aparente	g/cm ³	2.56
Peso específico de masa	g/cm ³	1.90
Peso específico saturado superficialmente seco	g/cm ³	2.16
Absorción	%	13.53
Contenido de humedad	%	1.28

3.12.2. Propiedades Físicas del Aserrín

En la tabla 10 se muestran los resultados de las características físicas del aserrín (agregado fino). Cada una de las propiedades físicas del aserrín (agregado fino) y con más detalle se encuentran en los Anexos (Anexo 03).

Tabla 10*Propiedades físicas del aserrín*

Propiedades del aserrín	Unidad	Resultados
Módulo de fineza	-	2.82
Peso unitario seco compactado	g/cm ³	0.19
Peso unitario suelto seco	g/cm ³	0.14
Peso específico aparente	g/cm ³	1.22
Peso específico de masa	g/cm ³	0.46
Peso específico saturado superficialmente seco	g/cm ³	1.08
Absorción	%	136.98
Contenido de humedad	%	55.62

3.12.3. Propiedades Físicas de la Arena para Elaboración de Ecoladrillo

En la tabla 11 se muestran los resultados de las propiedades físicas de la arena para elaboración de ecoladrillo (agregado fino). Cada una de las propiedades físicas de la arena para elaboración de ecoladrillo (agregado fino) y con más detalle se encuentra en los Anexos (Anexo 04).

Tabla 11

Propiedades físicas de la arena

Propiedades de la arena	Unidad	Resultados
Módulo de fineza	-	2.73
Peso unitario seco compactado	g/cm ³	1.84
Peso unitario suelto seco	g/cm ³	1.56
Peso específico aparente	g/cm ³	2.64
Peso específico (OD)	g/cm ³	2.50
Peso específico (SSD)	g/cm ³	2.56
Absorción	%	2.04
Contenido de humedad	%	1.95

3.12.4. Propiedades Químicas del Agua de Lluvia

En la tabla 12, se muestran los resultados de las propiedades químicas del agua de lluvia. Cada una de las propiedades químicas del agua de lluvia se encuentra con más detalle el informe del Laboratorio Regional del Agua (Anexo 07).

Tabla 12

Propiedades químicas del agua de lluvia

Parámetro	Unidad	Lcm	Resultados
Cloruro (Cl ⁻)	mg/l	0.0650	0.362
Sulfato (SO ₄ ⁻)	mg/l	0.0700	1.003
Alcalinidad total (CaCO ₃)	mg/l	0.8500	10.8
Sólidos Volátiles	mg/l	2.5000	18.0

3.12.5. Propiedades Físicas del Agregado Utilizado para el Mortero

La tabla 13 contiene los datos de las propiedades físicas de la arena para mortero. Cada una de las propiedades físicas de la arena para mortero y con más detalle se encuentra en los Anexos (Anexo 05).

Tabla 13

Propiedades de la arena gruesa para mortero

Propiedades arena gruesa	Unidad	Resultados
Módulo de fineza	-	2.46
Peso unitario seco compactado	g/cm ³	1.96
Peso unitario suelto seco	g/cm ³	1.73
Peso específico aparente	g/cm ³	2.67
Peso específico de masa	g/cm ³	2.51
Peso específico saturado superficialmente seco	g/cm ³	2.57
Absorción	%	2.46
Contenido de humedad	%	14.45

3.12.6. Dosificación de Mezcla para la Fabricación del Ecoladrillo

En la Tabla 14, se revelan los datos de las dosificaciones en peso y volumen el diseño de mezcla (Anexo 08)

Tabla 14

Dosificación de mezcla para la fabricación del ecoladrillo

Dosificació	Cemento	Aserrín	Arena	R. ladrillo	Relación a/c
Peso	1.0	0.07	2.38	2.2	0.93
Volumen	1.0	0.51	2.25	3.33	0.93

3.12.7. Características Físicas y Mecánicas del Ecoladrillo

3.12.7.1. Resistencia a la Compresión

Los ejemplares se ensayaron considerando la norma NTP 399.613, a la edad 28 días. Los valores resultados presentados en la Tabla 15 se detallan en los anexos (Anexo 11).

Tabla 15*Ensayo de Resistencia a la compresión de ecoladrillos*

Esp.	Medidas(cm)			Área Bruta (cm ²)	Carga Ultima (kg)	Resistencia f' b	
	Largo	Ancho	Altura			(kg/cm ²)	(MPa)
M-1	23.03	12.00	8.93	276.30	55500.00	200.87	19.70
M-2	23.03	12.05	8.93	277.45	55000.00	198.23	19.44
M-3	23.00	12.03	8.98	276.58	56000.00	202.48	19.86
M-4	23.03	12.08	8.93	278.03	56500.00	203.22	19.93
M-5	22.98	12.03	8.95	276.27	54500.00	197.27	19.35
M-6	23.03	12.03	8.95	276.88	56000.00	202.26	19.83
M-7	23.08	12.13	9.03	279.78	55000.00	196.58	19.28
M-8	23.10	12.13	8.93	280.09	54500.00	194.58	19.08
M-9	23.15	12.10	8.95	280.12	55500.00	198.13	19.43
M-10	23.10	12.10	8.98	279.51	56500.00	202.14	19.82
Prom. de resistencia a compresión de ecoladrillos						199.58	19.57
Desv. estándar (σ)						2.99	0.29
Resistencia típica a compresión de ecoladrillos (f'm)						196.59	19.28
Coeficient de variación (%)						1.50	1.50

3.12.7.2. Variación Dimensional

Los datos alcanzados del ensayo de variación dimensional se exponen en la Tabla 16, se realizó de acuerdo a la norma NTP 399.613, se seleccionaron 10 especímenes (Anexo 11) y se comparó con la normativa E.070 Albañilería y NTP 399.601 Ladrillos de concreto.

Tabla 16*Variación dimensional del ecoladrillo*

Tipo	Lp (mm)	L (%)	Ap (mm)	A (%)	Hp (mm)	H %	Clase
Ecoladrillo	230.5	-0.22	120.7	-0.54	89.5	0.53	V

3.12.7.3. Alabeo

Los resultados de dicho ensayo se presentan en la Tabla 17, el ensayo se determinó como dicta la norma NTP 399.613, se seleccionaron 10 especímenes (Anexo 11) y se comparó con la normativa E.070 Albañilería y NTP 399.601. Ladrillos de concreto.

Tabla 17

Ensayo de Alabeo del ecoladrillo

Esp.	Cara A		Cara B		Alabeo (mm)
	Cóncavo	Convexo	Cóncavo	Convexo	
M-1	0.5	0.5	0.5	0.0	0.5
M-2	1.0	0.3	0.0	1.0	1.0
M-3	0.5	1.5	1.0	0.0	1.5
M-4	0.0	0.0	0.0	0.5	0.5
M-5	0.0	0.0	0.5	0.0	0.5
M-6	1.0	0.4	0.5	0.0	1.0
M-7	0.0	0.5	0.0	0.5	0.5
M-8	0.5	0.0	0.5	1.0	1.0
M-9	0.5	0.5	0.0	0.4	0.5
M-10	1.0	0.5	0.0	0.0	1.0
				Prom. Alabeo	0.80

3.12.7.4. Absorción

La tabla 18, muestra los resultados de este ensayo con ecoladrillos, se determinó según norma NTP 399.613, se seleccionaron 10 especímenes (Anexo 11) y se comparó con la normativa E.070 Albañilería y NTP 399.601. Ladrillos de concreto.

Tabla 18*Ensayo de Absorción de ecoladrillos*

Espécimen	P. Seco (g)	P. Saturado (g)	Abs. %
P-1	5120	4740	7.42
P-2	4888	4532	7.28
P-3	4939	4589	7.09
P-4	4985	4632	7.08
P-5	4859	4501	7.37
P-6	4870	4512	7.35
P-7	4889	4531	7.32
P-8	4959	4595	7.34
P-9	4980	4617	7.29
P-10	4869	4511	7.35
Prom. de absorción (PAbs)			7.29
Desv. estándar(σ)			0.12
Absorción (Abs)			7.17
Coef. de variación (%)			1.58

3.12.8. Resistencia a Compresión del Mortero

Los especímenes de dimensiones 5x5x5 cm, fueron ensayados a compresión considerando la norma NTP 399.613, el mismo día que fueron ensayados los prismas de albañilería (pilas). Los valores presentados en la Tabla 19 se detallan en los anexos (Anexo 10). Además, la proporción del mortero utilizada según la norma E.070 Albañilería, se presenta en los anexos (Anexo 09).

Tabla 19*Ensayo de Resistencia a la compresión del mortero*

Esp.	Longitudes(cm)			Área (cm ²)	Carga Ult. (KN)	Carga Ult. (kg)	Resistencia f'c (kg/cm ²)
	Largo	Ancho	Altura				
M-1	5.05	4.98	5.03	25.12	49.21	5018.02	199.73
M-2	4.93	4.98	4.98	24.50	48.50	4945.62	201.85
M-3	5.05	5.03	5.00	25.38	47.81	4875.26	192.12
M-4	5.00	5.03	5.05	25.13	49.63	5060.85	201.43
M-5	5.05	5.05	4.95	25.50	48.75	4971.12	194.93
Prom. de la resistencia a compresión de cubos de mortero (F'c)							198.01
Desv. estándar (σ)							4.29
Resistencia característica a compresión de cubos de mortero (F'c)							193.72
Coef. de variación (%)							2.17

3.12.9. Propiedades de los Prismas de Albañilería**3.12.9.1. Compresión Axial de Pilas de Albañilería (NTP 399.605:2018)**

Este ensayo, fue realizado considerando la norma NTP 399.605, se ensayó a los 28 días de elaboradas las pilas. Los valores presentados en la Tabla 20 se detallan en los anexos (Anexo 12).

Tabla 20*Resistencia a la compresión axial de pilas de ecoladrillo*

Esp.	Medidas(cm)			Área (cm ²)	Q. Últ (kg)	R. Esp. (kg/cm ²)	hp/tp	Fc	Resistencia a compresión (fmt)	
	Largo	Ancho	Altura						(kg/cm ²)	(MPa)
M-1	23.08	12.05	29.25	278.05	25000	89.91	2.43	1.034	92.98	9.12
M-2	23.08	12.05	29.10	278.05	23500	84.52	2.41	1.033	87.32	8.56
M-3	23.10	12.10	29.25	279.51	22500	80.50	2.42	1.033	83.19	8.16
M-4	23.10	12.13	29.25	280.09	24000	85.69	2.41	1.033	88.51	8.68
M-5	23.05	12.10	29.28	278.91	25500	91.43	2.42	1.034	94.50	9.27
Prom. de la resistencia a compresión axial de la albañilería (fmt)									89.30	8.76
Desv. estándar (σ)									4.54	0.45
Resistencia típica a compresión axial de la albañilería (f'm)									84.76	8.31
Coef. de variación (%)									5.09	5.09

CAPÍTULO IV. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Según las Tabla 9, el módulo de finura del residuo de ladrillo (agregado grueso) fue de 6.81, el análisis granulométrico del agregado (residuo de ladrillo King Kong triturado y tamizado con TMN 3/4”), utilizado en la fabricación de ecoladrillos mostró resultados dentro de los rangos establecidos por el huso granulométrico N.º 67 (Anexo 02). El tamaño de muestra para el ensayo de granulometría del agregado grueso (residuo de ladrillo), se escogió según la NTP 400.012, para un TMN de 3/4” la mínima cantidad de muestra es de 5kg, la muestra ensayada fue de 8kg, cumpliendo dicha norma. El contenido de humedad fue bajo (1.28%), lo que facilita la dosificación precisa. El peso específico aparente de 2.56 g/cm^3 y el peso específico en estado seco de 1.90 g/cm^3 son adecuados para garantizar una correcta compactación. La absorción de 13.53% es alta, lo que podría influir en la cantidad de agua usada en la mezcla.

Según la Tabla 10, los valores de las propiedades del aserrín (agregado fino), se encuentran en los límites que dictan las normativas peruanas. El aserrín de pino, considerado como agregado fino en la mezcla de ecoladrillos, presenta un módulo de fineza de 2.82, está en rango recomendado (2.3-3.1), el tamaño de muestra mínimo para la granulometría del aserrín (agregado fino) es de 300 g según la NTP 400.012, la muestra ensayada fue de 320 gramos cumpliendo con dicha normativa, el aserrín, también se encuentra, en los límites permisibles del huso granulométrico para agregado fino (Anexo 03). El peso unitario seco compactado (0.19 g/cm^3) y suelto seco (0.14 g/cm^3) son bajos, indicando que el aserrín es liviano, lo que reduce el peso total del ecoladrillo, pero limita su capacidad para aportar resistencia estructural. El peso específico aparente (1.22 g/cm^3) es bajo, lo que confirma su naturaleza ligera y la posible disminución en la resistencia del material. Los valores de peso específico (de masa y SSD) (0.46 g/cm^3 y 1.08 g/cm^3 , respectivamente) reflejan una alta porosidad, la absorción del aserrín es significativamente alta (136.98%), lo que es un indicador

claro de que este material tiene una gran capacidad para retener agua. El contenido de humedad de 55.62% es considerablemente alto, lo que también debe ser tomado en cuenta al preparar la mezcla para evitar alteraciones en la proporción de agua y cemento.

Según la Tabla 11, la arena (agregado fino) de la Cantera Chilete, cumple con los requisitos de la NTP 400.037:2018 para agregados finos, destacando su módulo de fineza (2.73) dentro del rango normativo (2.3-3.1), el tamaño de muestra mínimo para la granulometría de la arena (agregado fino) es de 300 g según la NTP 400.012, la muestra ensayada fue de 554 gramos cumpliendo con dicha normativa, la arena también se encuentra en los límites permisibles de huso granulométrico para agregado fino (Anexo 04). Sus pesos específicos (aparente 2.64 g/cm³, de masa 2.50 g/cm³, y SSD 2.56 g/cm³) y pesos unitarios (compactado 1.84 g/cm³ y suelto 1.56 g/cm³) confirman una densidad óptima para aplicaciones constructivas. Además, su absorción (2.04%) y contenido de humedad (1.95%) están dentro de los límites aceptables, garantizando una dosificación precisa y minimizando problemas por exceso de agua en la mezcla. Estos resultados validan su idoneidad para fabricar ecoladrillos.

Según la tabla 12, los resultados del análisis del agua de lluvia, muestran que sus valores están muy por debajo de los límites establecidos por la NTP 339.088. El contenido de cloruros es de 0.362 mg/l, lo que está muy lejos del límite máximo de 500 mg/l, indicando que no hay riesgo de corrosión. El valor de sulfatos es 1.003 mg/l, mucho menor que el límite permitido de 3,000 mg/l, lo que significa que no habrá problemas de expansión ni ataques químicos. La alcalinidad total (10.8 mg/l) también es considerablemente más baja que el límite de 50,000 mg/l, lo que sugiere que no afectará la mezcla de concreto. Finalmente, los sólidos volátiles, con un valor de 18.0 mg/l, están lejos del límite de 50,000 mg/l, lo que confirma que el agua no tiene niveles significativos de sustancias que puedan comprometer la calidad del concreto. En resumen, el agua de lluvia analizada cumple con los requisitos normativos.

Según la Tabla 13, la arena para mortero muestra un módulo de fineza de 2.46, en el rango establecido por la norma E.070 (1.6-2.5), el tamaño de muestra mínimo para la granulometría de la arena para mortero es de 300 g según la NTP 400.012, la muestra ensayada fue de 576 gramos cumpliendo con dicha normativa, la arena también se está en los límites permisibles del huso granulométrico para agregado fino (Anexo 05). Sus pesos específicos (aparente 2.67 g/cm^3 , de masa 2.51 g/cm^3 y SSS 2.57 g/cm^3) confirman su densidad óptima para aplicaciones constructivas. Los pesos unitarios (compactado 1.96 g/cm^3 y suelto 1.73 g/cm^3) son consistentes con un material de calidad, adecuado para morteros. Su absorción (2.46%) está dentro de los límites estipulados por la normativa, lo que asegura una buena relación agua-material, mientras que el contenido de humedad (14.45%) es relativamente alto y debe ser considerado al momento de la dosificación para evitar excesos de agua que comprometan la mezcla. En general, los resultados confirman que la arena gruesa es apta para su uso en morteros constructivos.

Según la Tabla 14, en la dosificación para la elaboración del ecoladrillo se obtuvo una mezcla con un slump de 0 a 2" (consistencia seca); obteniéndose un ladrillo de coloración gris y algunas manchas rojas, debido a la inclusión de residuos de ladrillo King Kong; además, se verificó que la óptima relación a/c es 0.93, no hubo muchos problemas de trabajabilidad con la mezcla, además, el ecoladrillo tampoco tuvo muchos poros ni una gran absorción.

La Tabla 15, muestra que el ecoladrillo logra una resistencia de 196.59 kg/cm^2 (19.28 MPa) a compresión, de acuerdo con la NTP 399.601 (ladrillo de concreto), los ecoladrillos con una resistencia característica de 19.28 MPa cumplen con los requisitos de Tipo 17, que es adecuado para aplicaciones estructurales estándar. Por otro lado, en la normativa NTP E.070 de albañilería confinada, que también clasifica los ladrillos de acuerdo con su resistencia, los ladrillos Tipo V tienen una resistencia mínima de 17.6 MPa (180 kg/cm^2). Si los ecoladrillos tienen una resistencia característica de 19.28 MPa, superan el mínimo establecido para los

ladrillos Tipo V, que es de 17.6 MPa. Por lo tanto, sí cumplen con los requisitos para la clasificación Tipo V, la más alta de la normativa de albañilería.

En la Tabla 16, se observa la variación de dimensiones del ecoladrillo, siendo la mayor variación de - 0.54 % y la norma dicta que para una longitud hasta 150 mm puede poseer una variación de $\pm 3\%$, los ladrillos se clasifican como Clase V según la norma E.070. Según NTP 399.601 (ladrillos de concreto), sus longitudes (ancho, alto y largo) no deben variar por más de $\pm 3,2$ mm de las medidas estándar estipuladas por el fabricante, y como se muestra en la Tabla 53 de los Anexos, Cumple los requisitos.

La Tabla 17, muestra el albeo del ecoladrillo de 0.8mm, menor a 2 mm, por lo que son clasificados como clase V, estipulado en la norma E.070.

En la Tabla 18, según la NTP 399.601 (ladrillos de concreto), la absorción para un ladrillo Tipo 17 debe ser menor que 10 % y según la norma E.070, el porcentaje de absorción debe ser menor al 12%, la absorción obtenida fue de 7.17 %. Cumplen en ambos casos.

La Tabla 19, muestra que los cubos de mortero de 5x5x5 cm que se ensayaron el mismo día que las pilas, y que fueron elaborados con proporción 1:4 (cemento: arena) lograron una resistencia típica a compresión de 193.72 kg/cm².

Según la Tabla 20, las pilas ensayadas fueron elaboradas con un mortero de relación 1:4(cemento: arena), para medir la resistencia del mortero, se ensayaron cubos de 5x5x5 cm como indica la norma E - 0.70. Albañilería, dichos cubos se ensayaron al mismo día que las pilas, las pilas tuvieron una resistencia a compresión axial característica de 84.76 kg/cm² menor a 85 kg/cm², clasificándose como Clase IV Según la norma E.070 Albañilería Confinada. También se realizaron graficas de esfuerzo deformación para ver el comportamiento de las pilas y los puntos de resistencia máxima de las pilas antes de fallar (Anexo 12). En este caso no alcanzaron la resistencia adecuada para ser clasificado como Tipo V.

CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

- La resistencia característica a compresión obtenida del ecoladrillo fue de 196.59 kg/cm², el ladrillo fue diseñado para 180 kg/cm², presenta una resistencia a la compresión superior a los límites requeridos por las normativas correspondientes para el cual fue diseñado.
- Las propiedades del ecoladrillo como absorción 7.17 %, variación dimensional del ecoladrillo -0.54% y alabeo 0.80 mm, cumplen con lo especificado en la norma técnica E.070 Albañilería Confinada y NTP 399.601 Ladrillos de concreto.
- La resistencia característica a compresión axial de pilas elaboradas con residuo de ladrillos, aserrín, cemento puzolánico IP y agua de lluvia fue 84.76 kg/cm², clasificado como Tipo IV – Industrial, no cumple con lo estipulado en la norma técnica E.070 Albañilería Confinada 85 kg/cm², para el cual fue diseñado.
- La dosificación de mezcla en peso y volumen respectivamente para la elaboración del ecoladrillo por el método ACI fue la siguiente: 1:0.07:2.38:2.27:0.93 y 1:0.51:2.25:3.33:0.93 (cemento, aserrín de pino, arena, residuo de ladrillo, relación a/c).

5.2. Recomendaciones

- Realizar pruebas complementarias como resistencia al impacto, resistencia a la abrasión y durabilidad en condiciones ambientales reales para evaluar el comportamiento de los ecoladrillos en diferentes climas.
- Evaluar el efecto de incorporar aditivos para optimar las propiedades mecánicas y de durabilidad de los ecoladrillos.
- Evaluar el comportamiento de otros tipos de aserrín (distintas especies de madera) y su efecto en las propiedades del ladrillo.

BIBLIOGRAFÍA

- Aguilar Penagos, Armando de Jesús. (2017). "Fabricación de bloques ecológicos a base de material producto de la construcción". (Tesis de Maestría). Universidad Nacional Autónoma de México, México. <https://repositorio.unam.mx/contenidos/62009>
- Barrera, A. (2016). El aserrín como material expresivo en el diseño interior [Tesis de diseño, Universidad del Azuay]. Repositorio Institucional. <https://bit.ly/3swf0sQ>
- Britannica, T. Editors of Encyclopaedia (2021). pozzolana. Encyclopedia Britannica. <https://www.britannica.com/technology/pozzolana>.
- Ching, F. D. K. (2014). Building Construction Illustrated. John Wiley & Sons.
- Chino Ruiz, L. A. & Mathios Castro, A. C. (2020). Elaboración de ladrillos ecológicos a base de plásticos PET reutilizados y aserrín de la especie Huayruro (*Ormosia coccinea*) de las industrias madereras en Ucayali, Perú (Tesis de grado). Universidad Nacional Ucayali. <http://repositorio.unu.edu.pe/handle/UNU/4305>.
- David Oriabure EKHUEMELO, Owoicho ADEMU, & Emmanuel Terzungwue TEMBE. (2016). Physical and Strength Properties of Bricks Produced from Portland Cement and Saw Dust of *Danielia Oliverii* Wood. *Pro Ligno*, 12(4), 53–60.
- Delgado Sánchez, J. L. (2022). Propiedades físico-mecánicas de los ladrillos ecológicos adicionando aserrín en muros no estructurales, Chiclayo, Lambayeque 2020 (Tesis de Grado). Universidad Señor de Sipán. <https://hdl.handle.net/20.500.12802/10367>.
- FAO. (2011). Captación y almacenamiento de agua de lluvia: Opciones técnicas para la agricultura familiar en América Latina y el Caribe. FAO. <https://www.fao.org/4/i3247s/i3247s.pdf>
- Fregoso-Madueño, Jesús N., Goche-Télles, José R., Rutiaga-Quiñones, José G., González-Laredo, Rubén F., Bocanegra-Salazar, Melissa, & Chávez-Simental, Jorge A. (2017). Usos alternativos de los desechos de la industria del aserrío. *Revista Chapingo serie ciencias forestales y del ambiente*, 23(2), 243-260. <https://doi.org/10.5154/r.rchscfa.2016.06.040>
- Gallón Martínez, S., López Gómez, E., & García, C. (2018). Análisis de residuos de ladrillo

- como agregado grueso para la fabricación de concreto. *Revista Colombiana De Materiales*, (12), 53–69. <https://doi.org/10.17533/udea.rcm.336463>.
- López, J., Sierra, M., & Tito, R. (2017). Planeamiento estratégico de la industria de los residuos madereros en Perú. Pontificia Universidad Católica Del Perú, 139. <http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/123456789/9589>
- Martina, N., Bakti, R. N., Hasan, M. F. R., Agung, P. A. M., & Setiawan, Y. (2022). Compressive Strength of Concrete Using Lightweight Brick Waste as the Substitute for Fine Aggregate. *International Journal of GEOMATE*, 23(98), 189–196. <https://doi.org/10.21660/2022.98.3565>
- Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento [Perú]. (2019). Reglamento Nacional de Edificaciones (RNE). Norma E 070: Albañilería. <https://www.cip.org.pe/publicaciones/2021/enero/portal/e.070-alba-ileria-sencico.pdf>
- NTP 339.088. (2021). CONCRETO. Agua de mezcla utilizada en la producción de concreto de cemento hidráulico. Especificaciones. 4a Edición. INACAL, Lima, Perú.
- NTP 399.185:2013 (revisada el 2018) AGREGADOS. Método de ensayo normalizado para contenido de humedad total evaporable de agregados por secado. INACAL, Lima, Perú.
- NTP 399.605:2018.UNIDADES DE ALBAÑILERÍA. Método de ensayo para la determinación de la resistencia en compresión de prismas de albañilería. INACAL, Lima, Perú.
- NTP 399.605:2018.UNIDADES DE ALBAÑILERÍA. Método de ensayo para la determinación de la resistencia en compresión de prismas de albañilería. INACAL, Lima, Perú.
- NTP 399.613. (2017). NTP 399.613 UNIDADES DE ALBAÑILERÍA. Métodos de muestreo y ensayo de ladrillos de arcilla usados en albañilería. INACAL, Lima, Perú.
- NTP 400.012:2013 (revisada el 2018) AGREGADOS. Análisis granulométrico del agregado fino, grueso y global. INACAL, Lima, Perú.
- NTP 400.017. (2020). AGREGADOS. Método de ensayo para determinar la masa por unidad

de volumen o densidad (“Peso Unitario”) y los vacíos en los agregados. INACAL, Lima, Perú.

NTP 400.021:2013 (revisada el 2018) AGREGADOS. Método de ensayo normalizado para la densidad, la densidad relativa (peso específico) y absorción del agregado grueso. INACAL, Lima, Perú.

NTP 400.022. (2021). AGREGADOS. Determinación de la densidad relativa (peso específico) y absorción del agregado fino. Método de ensayo. INACAL, Lima, Perú.

Oliveira, M.S. (2021). Aplicação de tijolos ecológicos em construções de baixo custo. Revista de Arquitetura Sustentável, 4(1), 27-36.

Pacheco, C., Arredondo, R., & Cárdenas, R. (2020). Desarrollo de ladrillos ecológicos para la construcción sostenible. Revista de Investigación en Ingeniería y Tecnología, 4(2), 123-134.

Pérez Porto, J. (2021). Aserrín - Qué es, usos, definición y concepto. <https://definicion.de/aserrin/>

Pérez, F. (2023). Ladrillo ecológico: Identifica qué tipos hay y conoce sus ventajas. <https://cementostorices.com/blog/construccion/ladrillo-ecologico/>

Pérez-Vinent, Angel Rafael, Serret-Guasch, Nurian y Penedo-Medina, Margarita. (2022). Caracterización de la biomasa de aserrín de pino. Tecnología Química, 42 (3), 558-575. Recuperado de http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2224-61852022000300558&lng=es&tlng=en.

Rodríguez, B., León, R., & Romero, J. (2012). Comparación técnica, económica y ambiental de los cementos cubanos Portland P-350 y PP-250 con sus equivalentes puzolánicos PP-350 y PZ-250. Corporación Universidad de la Costa. de <http://hdl.handle.net/11323/2666>.

Rodríguez, D. (2021). Aguas lluvias y aguas subterráneas: alternativas para la fabricación de hormigón y contribución a un impacto ambiental reducido, generado por las obras de construcción en el sector público y privado del municipio de Arauca. Universidad Nacional de Colombia - Sede Medellín. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/79460>

- San Bartolomé Ramos, A., Q., Daniel, Silva Berríos, W.E. (2018). Diseño y construcción de estructuras sismorresistentes de albañilería. (2a ed.). Fondo Editorial PUCP.
- Serret-Guasch, N., Giralt-Ortega, G., & Quintero-Ríos, M. (2016). Caracterización de aserrín de diferentes maderas. *Tecnología Química*, 36(3), 395-405. <https://bit.ly/3OeEFk9>
- Tantaleán, R. (2022). Evaluación del ladrillo artesanal adicionando aserrín y cascara de arroz, Bambamarca. [Tesis para optar título de Ingeniero Civil]. Universidad Nacional Autónoma de Chota, Cajamarca, Perú. <http://hdl.handle.net/20.500.14142/345>.
- Urbina, I. (2022). Tipos de cementos puzolánicos para hormigonar en obras de todo tipo. <https://constructor.lacuarta.com/noticias/vitrina-del-maestro/tipos-de-cementos-puzolanicos-para-hormigonar-en-obras-de-todo-tipo.html>.

ANEXOS

Anexo 01. Constancia de laboratorio



Universidad Nacional de Cajamarca
FACULTAD DE INGENIERÍA
Laboratorio de Ensayo de Materiales



El jefe del Laboratorio de Ensayo de Materiales de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Cajamarca expide, la siguiente:

CONSTANCIA

A nombre del Bach. JOSÉ ROMARIO ALEXANDER BARBOZA SAAVEDRA, Exalumno de la Escuela Académico Profesional de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional de Cajamarca, con la cual se da constancia que se han realizado las siguientes actividades:

ÍTEM	DETALLE
01	Ensayo contenido de humedad
02	Ensayo análisis granulométrico
03	Ensayo peso unitario suelto y compactado
04	Ensayo peso específico
05	Ensayo de absorción
06	Variabilidad dimensional
07	Alabeo en unidades
08	Compresión axial en pilas
09	Compresión diagonal en muretes (*)

(*) No se concluyo por limitaciones del LEM

Para la Tesis Titulada: "DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DE ECOLADRILLOS PARA MUROS PORTANTES FABRICADOS CON RESIDUO DE LADRILLO, ASERRÍN, CEMENTO PUZOLÁNICO IP Y AGUA DE LLUVIA, CAJAMARCA 2023". Las actividades se desarrollaron del 15 de abril al 13 de setiembre de 2024.

Se expide el presente, para fines que se estime conveniente.

Cajamarca, 24 de octubre de 2024.

Atentamente:

c.c. a:
_Archivo

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA
FACULTAD DE INGENIERÍA
Ing. Mauro Centurión Vargas
JEFE DEL LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES

Anexo 02. Propiedades Físicas del Residuo de Ladrillo

Tabla 21

Granulometría del residuo de ladrillo

Malla		Peso retenido (g)	Ret.Parcial (%)	Ret. Acumulado (%)	Material que Pasa (%)
Nº	Ø (mm)				
1"	25.000	0.00	0.00	0.00	100.00
3/4"	19.000	506.00	6.33	6.33	93.68
1/2"	12.500	3820.00	47.75	54.08	45.93
3/8"	9.500	2024.00	25.30	79.38	20.63
Nº 4	4.750	1300.00	16.25	95.63	4.38
Nº 8	2.360	320.00	4.00	99.63	0.38
Nº 16	1.180	30.00	0.38	100.00	0.00
Total		8000.00	100.00	Módulo de finura	6.810

Figura 1

Curva granulométrica del residuo de ladrillo

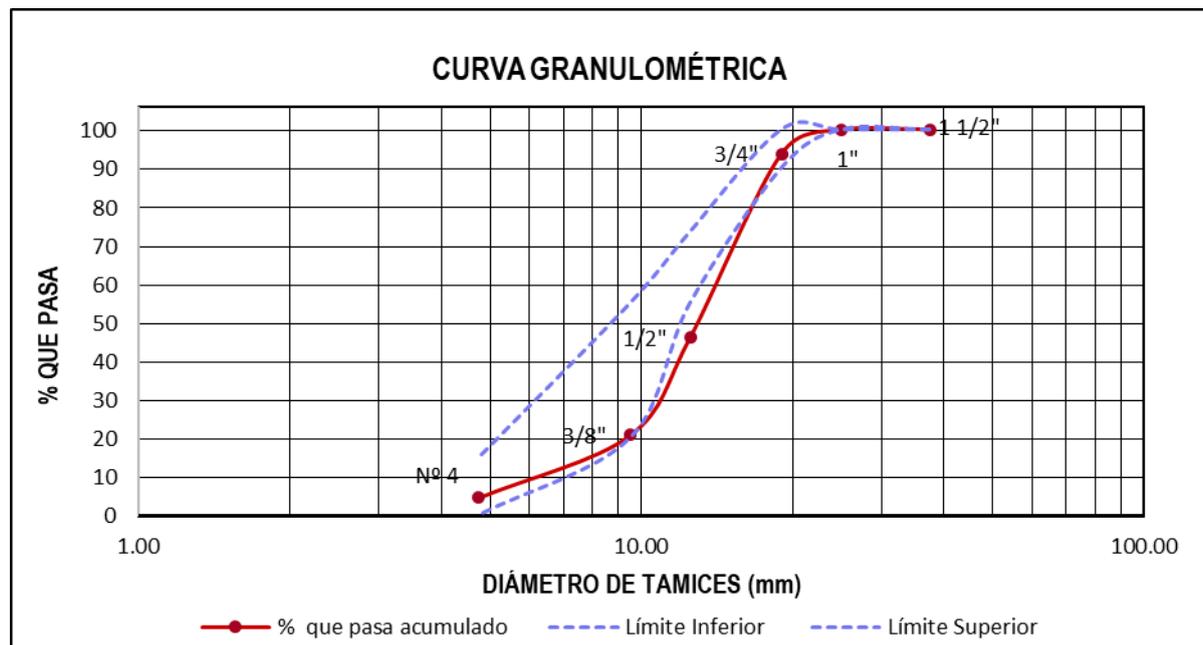


Tabla 22*Contenido de humedad del residuo de ladrillo*

Descripción	Unidad	Ensayo		
		N° 1	N° 2	N° 3
Ident. de recipiente		N° 1	N° 2	N° 3
Peso del recipiente	g	591	591	592
Peso muestra húmeda más recipiente	g	4164	4134	4464
Peso muestra seca más recipiente	g	4120	4090	4414
Peso de la muestra húmeda	g	3573	3543	3872
Peso de la muestra seca	g	3529	3499	3822
Peso del agua	g	44	44	50
Contenido de humedad	%	1.25%	1.26%	1.31%
Promedio	%		1.27%	

Tabla 23*Peso específico y absorción del residuo de ladrillo*

Descripción	Unidad	Ensayo			
		N° 1	N° 2	N° 3	PROM.
A = peso en el aire de la muestra secada al horno	g	2646	2642	2639	-
B = peso en el aire de la muestra saturada con superficie seca	g	3000	3000	3000	-
C = peso en el agua de la muestra saturada superficialmente seca	g	1610	1608	1613	-
Peso Específico de Masa	g/cm³	1.90	1.90	1.90	1.90
Peso específico de base saturada superficialmente seca	g/cm³	2.16	2.16	2.16	2.16
Peso específico aparente	g/cm³	2.56	2.55	2.57	2.56
Absorción de agua	%	13.38	13.53	13.69	13.53

Tabla 24*Peso unitario compactado del residuo de ladrillo*

Descripción	Unidad	Ensayos		
		Nº 1	Nº 2	Nº 3
P. del recipiente	g	4192.00	4192.00	4192.00
P. del recipiente + muestra	g	14899.00	14868.00	14889.00
P. de la muestra	g	10707.00	10676.00	10697.00
Vol. del recipiente	cm ³	9765.33	9765.33	9765.33
Peso unitario seco compactado (P.U.C)	g/cm³	1.10	1.09	1.10
Promedio	g/cm³		1.10	

Tabla 25*Peso unitario suelto del residuo de ladrillo*

Descripción	Unidad	Ensayos		
		Nº 1	Nº 2	Nº 3
P. del recipiente	g	4192.00	4192.00	4192.00
P. del recipiente + muestra	g	13966.00	14146.00	14127.00
P. de la muestra	g	9774.00	9954.00	9935.00
Vol. del recipiente	cm ³	9765.33	9765.33	9765.33
Peso unitario suelto seco (P.U.S)	g/cm³	1.00	1.02	1.02
Promedio	g/cm³		1.01	

Anexo 03. Propiedades Físicas del Aserrín

Tabla 26

Granulometría del aserrín

Malla	Peso retenido (g)	Ret. Parcial (%)	Ret. Acumulado (%)	Material que Pasa (%)
Nº	Ø (mm)			
3/8"	9.500	0.0	0.00	100.00
Nº 4	4.750	2.0	0.63	99.38
Nº 8	2.360	8.0	3.13	96.88
Nº 16	1.180	74.0	26.25	73.75
Nº 30	0.600	122.0	38.13	35.63
Nº 50	0.300	80.0	25.00	10.63
Nº 100	0.150	28.0	8.75	1.88
Nº 200	0.075	4.0	1.25	0.63
Cazoleta		2.0	0.63	100.00
Total		320.0	100.00	Módulo de finura 2.819

Figura 2

Curva granulométrica del aserrín

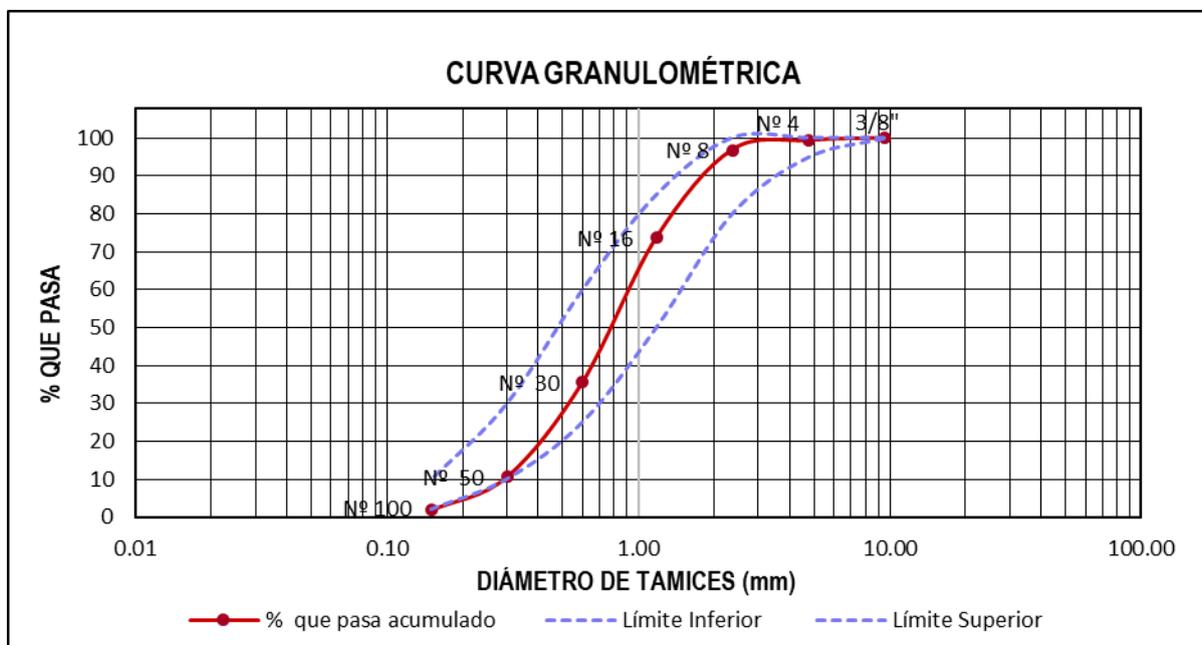


Tabla 27*Contenido de humedad del aserrín*

Descripción	Unidad	Ensayo		
		N° 1	N° 2	N° 3
Ident. de recipiente		N° 1	N° 2	N° 3
Peso del recipiente	g	131	86	131
Peso muestra húmeda más recipiente	g	478	350	432
Peso muestra seca más recipiente	g	354	256	324
Peso de la muestra húmeda	g	347	264	301
Peso de la muestra seca	g	223	170	193
Peso del agua	g	124	94	108
Contenido de humedad	%	55.61%	55.29%	55.96%
Promedio	%		55.62%	

Tabla 28*Peso específico y absorción del aserrín*

Descripción	Unidad	Ensayo			
		N° 1	N° 2	N° 3	PROM.
A = peso de la muestra secada al horno	g	213	209	211	-
B = peso de picnómetro lleno de agua hasta la marca de calibración	g	1236	1237	1237	-
C = peso de picnómetro lleno de muestra y agua hasta la marca de calibración	g	1273	1279	1271	-
S = peso de la muestra saturada superficialmente seca	g	500	500	500	-
Peso específico secado al horno	g/cm3	0.46	0.46	0.45	0.46
Peso específico saturado superficialmente seco	g/cm3	1.08	1.09	1.07	1.08
Peso específico aparente	g/cm3	1.21	1.25	1.19	1.22
Absorción de agua	%	134.74	139.23	136.97	136.98

Tabla 29*Peso unitario compactado del aserrín*

Descripción	Unidad	Ensayos		
		Nº 1	Nº 2	Nº 3
P. del recipiente + muestra	g	4422.00	4417.00	4423.00
P. de la muestra	g	553.00	548.00	554.00
P. del recipiente	g	3869.00	3869.00	3869.00
Vol. del recipiente	cm3	2964.80	2964.80	2964.80
Peso unitario seco compactado (P.U.C)	g/cm3	0.19	0.18	0.19
Promedio	g/cm3		0.19	

Tabla 30*Peso unitario suelto del aserrín*

Descripción	Unidad	Ensayos		
		Nº 1	Nº 2	Nº 3
P. del recipiente	g	3869.00	3869.00	3869.00
P. del recipiente + muestra	g	4275.00	4303.00	4281.00
P. de la muestra	g	406.00	434.00	412.00
Vol. del recipiente	cm3	2964.80	2964.80	2964.80
Peso unitario suelto seco (P.U.S)	g/cm3	0.14	0.15	0.14
Promedio	g/cm3		0.14	

Anexo 04. Propiedades Físicas de la Arena para Elaboración de Ecoladrillo

Tabla 31

Granulometría de la arena

Malla		Peso retenido	Ret. Parcial (%)	Ret. Acumulado (%)	Material que Pasa (%)
Nº	Ø (mm)				
3/8"	9.500	0.00	0.00	0.00	100.00
Nº 4	4.750	35.00	6.32	6.32	93.68
Nº 8	2.360	102.00	18.41	24.73	75.27
Nº 16	1.180	78.00	14.08	38.81	61.19
Nº 30	0.600	79.00	14.26	53.07	46.93
Nº 50	0.300	92.00	16.61	69.68	30.32
Nº 100	0.150	62.00	11.19	80.87	19.13
Nº 200	0.075	86.00	15.52	96.39	3.61
Cazoleta		20.00	3.61	100.00	0.00
Total		554	100.00	Módulo de finura	2.73

Figura 3

Curva granulométrica de la arena para elaboración de ecoladrillo

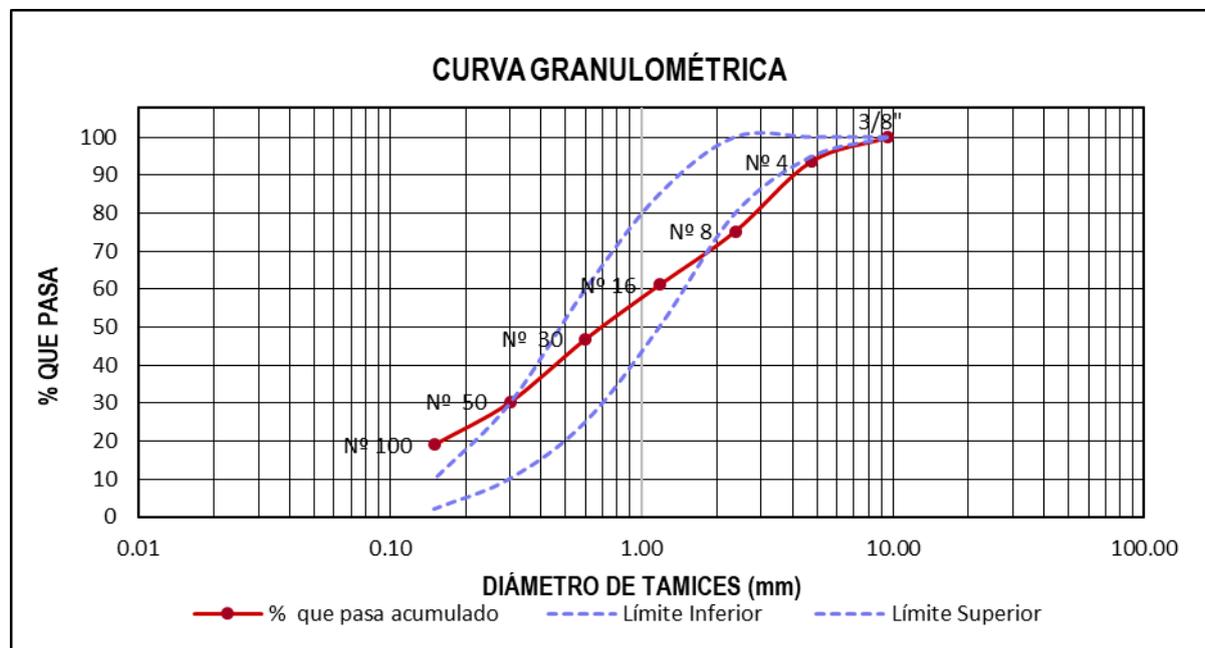


Tabla 32*Contenido de humedad de la arena*

Descripción	Unidad	Ensayo		
		N° 1	N° 2	N° 3
Ident. de recipiente		N° 1	N° 2	N° 3
Peso del recipiente	mg	92	84	92
Peso muestra húmeda más recipiente	mg	609	611	616
Peso muestra seca más recipiente	mg	599	601	606
Peso de la muestra húmeda	mg	517	527	524
Peso de la muestra seca	mg	507	517	514
Peso del agua	mg	10	10	10
Contenido de humedad	%	1.97%	1.93%	1.95%
Promedio	%		1.95%	

Tabla 33*Peso específico y absorción de la arena.*

Descripción	Unidad	Ensayo			
		N° 1	N° 2	N° 3	PROM.
A = peso de la muestra secada al horno	g	490	491	489	-
B = peso de picnómetro lleno de agua hasta la marca de calibración	g	690	689	690	-
C = peso de picnómetro lleno de muestra y agua hasta la marca de calibración	g	993	994	995	-
S = peso de la muestra saturada superficialmente seca	g	500	500	500	-
Peso específico secado al horno	g/cm³	2.49	2.52	2.51	2.50
Peso específico saturado superficialmente seco	g/cm³	2.54	2.56	2.56	2.56
Peso específico aparente	g/cm³	2.62	2.64	2.66	2.64
Absorción de agua	%	2.04	1.83	2.25	2.04

Tabla 34*Peso unitario compactado de la arena*

Descripción	Unidad	Ensayos		
		Nº 1	Nº 2	Nº 3
P. del recipiente + muestra	g	9325.00	9323.00	9326.00
P. de la muestra	g	5456.00	5454.00	5457.00
P. del recipiente	g	3869.00	3869.00	3869.00
Vol. del recipiente	cm3	2964.80	2964.80	2964.80
Peso unitario seco compactado (P.	g/cm3	1.840	1.840	1.841
Promedio	g/cm3		1.840	

Tabla 35*Peso unitario suelto de la arena*

Descripción	Unidad	Ensayos		
		Nº 1	Nº 2	Nº 3
P. del recipiente + muestra	g	8496.00	8501.00	8497.00
P. de la muestra	g	4627.00	4632.00	4628.00
P. del recipiente	g	3869.00	3869.00	3869.00
Vol. del recipiente	cm3	2964.80	2964.80	2964.80
Peso unitario seco compactado (P.U.C)	g/cm3	1.561	1.562	1.561
Promedio	g/cm3		1.561	

Anexo 05. Propiedades Físicas de la Arena para Mortero

Tabla 36

Granulometría de la arena para mortero

Malla		Peso retenido	Ret. Parcial (%)	Ret. Acumulado (%)	Material que Pasa (%)
Nº	Ø (mm)				
3/8"	9.500	0.00	0.00	0.00	100.00
Nº 4	4.750	37.00	6.42	6.42	93.58
Nº 8	2.360	45.00	7.81	14.24	85.76
Nº 16	1.180	50.00	8.68	22.92	77.08
Nº 30	0.600	102.00	17.71	40.63	59.38
Nº 50	0.300	189.00	32.81	73.44	26.56
Nº 100	0.150	88.00	15.28	88.72	11.28
Nº 200	0.075	45.00	7.81	96.53	3.47
Cazoleta		20.00	3.47	100.00	0.00
Total		576	100.00	Módulo de finura	2.46

Figura 4

Curva granulométrica de la arena para mortero

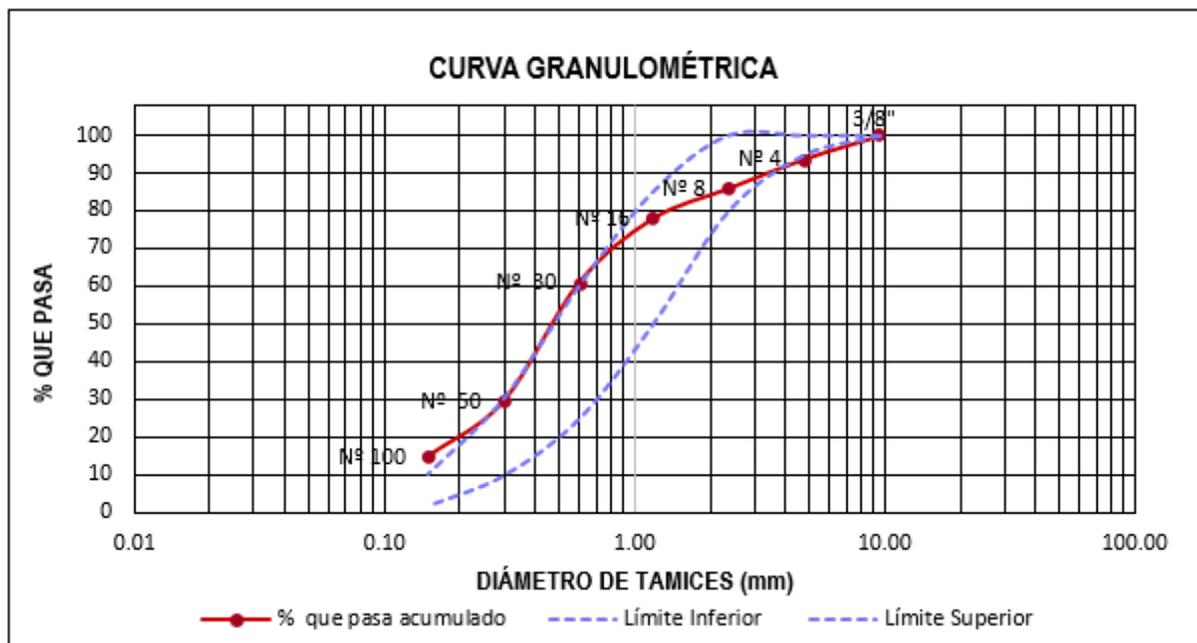


Tabla 37*Contenido de humedad de la arena para mortero*

Descripción	Unidad	Ensayo		
		Nº 1	Nº 2	Nº 3
Ident. de recipiente		Nº 1	Nº 2	Nº 3
Peso del recipiente	g	74	84	74
Peso muestra húmeda más recipiente	g	784	775	780
Peso muestra seca más recipiente	g	694	689	690
Peso de la muestra húmeda	g	710	691	706
Peso de la muestra seca	g	620	605	616
Peso del agua	g	90	86	90
Contenido de humedad	%	14.52%	14.21%	14.61%
Promedio	%	14.45%		

Tabla 38*Peso específico y absorción de la arena para mortero*

Descripción	Unidad	Ensayo			
		Nº 1	Nº 2	Nº 3	PROM.
A = peso de la muestra secada al horno	g	489	487	488	-
B = peso de picnómetro lleno de agua hasta la marca de calibración	g	690	690	689	-
C = peso de picnómetro lleno de muestra y agua hasta la marca de calibración	g	995	994	996	-
S = peso de la muestra saturada superficialmente seca	g	500	500	500	-
Peso específico secado al horno	g/cm³	2.51	2.48	2.53	2.51
Peso específico saturado superficialmente seco	g/cm³	2.56	2.55	2.59	2.57
Peso específico aparente	g/cm³	2.66	2.66	2.70	2.67
Absorción de agua	%	2.25	2.67	2.46	2.46

Tabla 39*Peso unitario compactado de la arena para mortero*

Descripción	Unidad	Ensayos		
		Nº 1	Nº 2	Nº 3
P. del recipiente + muestra	g	9694.00	9691.00	9689.00
P. de la muestra	g	5825.00	5822.00	5820.00
P. del recipiente	g	3869.00	3869.00	3869.00
Vol. del recipiente	cm3	2964.80	2964.80	2964.80
Peso unitario seco compactado (P.	g/cm3	1.965	1.964	1.963
Promedio	g/cm3	1.964		

Tabla 40*Peso unitario suelto de la arena para mortero*

Descripción	Unidad	Ensayos		
		Nº 1	Nº 2	Nº 3
P. del recipiente + muestra	g	9017.00	9014.00	9000.00
P. de la muestra	g	5148.00	5145.00	5131.00
P. del recipiente	g	3869.00	3869.00	3869.00
Vol. del recipiente	cm3	2964.80	2964.80	2964.80
Peso unitario seco compactado (P.U.C)	g/cm3	1.736	1.735	1.731
Promedio	g/cm3	1.734		

Anexo 06. Ficha Técnica del Cemento Puzolánico IP

Figura 5

Ficha Técnica del Cemento Puzolánico IP

DESCRIPCIÓN

El cemento Multi-propósito de Alta durabilidad Yura IP es un cemento elaborado bajo los más estrictos estándares de la industria cementera, colaborando con el medio ambiente, debido a que en su producción se reduce ostensiblemente la emisión de CO₂, contribuyendo a la reducción de los gases con efecto invernadero.

Es un producto fabricado con Clinker Tipo I de alta calidad y adición de puzolana natural de origen volcánico y yeso. Esta mezcla es molida industrialmente en molinos de última generación, logrando un alto grado de finura. La fabricación es controlada bajo un sistema de gestión de calidad certificado ISO 9001, de gestión ambiental ISO 14001 y de gestión de la seguridad y salud en el trabajo ISO 45001, asegurando un alto estándar de calidad.

Sus componentes y la tecnología utilizada en su fabricación, hacen que el CEMENTO MULTI-PROPÓSITO YURA TIPO IP, tenga propiedades especiales que otorgan a los concretos y morteros cualidades únicas de ALTA DURABILIDAD, permitiendo que el concreto mejore su resistencia e impermeabilidad y también pueda resistir la acción del intemperismo, ataques químicos (aguas saladas, sulfatadas, ácidas, desechos industriales, reacciones químicas en los agregados, etc.), abrasión, u otros tipos de deterioro.

Puede ser utilizado en cualquier tipo de obras de infraestructura y construcción en general. Especialmente para OBRAS DE ALTA EXIGENCIA DE DURABILIDAD.

DURABILIDAD

"Es aquella propiedad del concreto endurecido que define la capacidad de éste para resistir la acción agresiva del medio ambiente que lo rodea, permitiendo alargar su vida útil".

SOSTENIBILIDAD

Somos la primera cementera en conseguir 2 estrellas en la **certificación de Huella de Carbono** otorgada por el Ministerio del Ambiente.

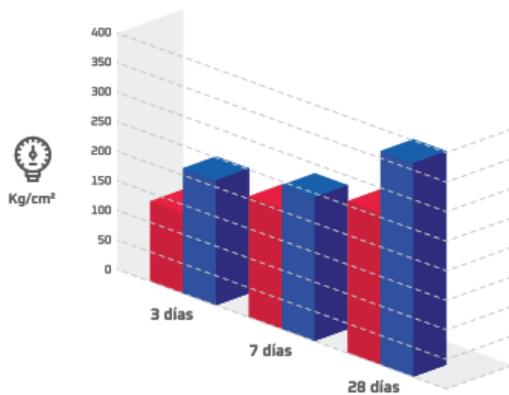
Certificación de "Huella de Carbono Perú" Nivel 2 por calcular y verificar las emisiones de **Gases de Efecto Invernadero** utilizando la herramienta **Huella de Carbono Perú**

Yura también ha recibido el certificado "Quality Carbon Footprint" que evidencia el cálculo de la Huella de Carbono Producto, de tres de nuestros tipos de cemento, cumpliendo los estándares reconocidos internacionalmente.



CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS

REQUISITOS		Requisitos Norma Técnica Peruana 334.090:2020 y Norma Americana ASTM C595/C595M-20 CEMENTO TIPO IP		CEMENTO YURA MULTI-PROPÓSITO TIPO IP
REQUISITOS QUÍMICOS	UNIDAD			
Óxido de magnesio (MgO)	%	máximo 6.0		1.5 a 3.0
Trióxido de azufre (SO ₃)	%	máximo 4.0		1.5 a 3.0
Pérdida de ignición	%	máximo 5.0		1.5 a 4.0
REQUISITOS FÍSICOS				
Densidad	g/cm ³	-		2.70 a 2.8
Contracción / Expansión en Autoclave	%	-0.20 a 0.80		-0.09 a 0.05
Tiempo de fraguado inicial Vicat	minutos	45 a 420		140 a 260
Contenido de aire	%	máximo 12		3 a 8
RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN				
3 días	kgf/cm ²	mínimo 133		150 a 210
7 días	kgf/cm ²	mínimo 204		210 a 240
28 días	kgf/cm ²	mínimo 255		290 a 360
RESISTENCIA A LOS SULFATOS				
Expansión a 6 meses para alta resistencia a sulfatos	%	máximo 0.05		< 0.05
Expansión a 12 meses para alta resistencia a sulfatos	%	máximo 0.10		< 0.07



COMPARACIÓN RESISTENCIAS A LA COMPRESIÓN

CEMENTO YURA MULTI-PROPÓSITO TIPO IP VS REQUISITOS NORMAS TECNICAS NTP 334.090

- Cemento Tipo IP
Norma técnica NTP 334.090 (ASTM C595)
- Cemento Multi-Propósito Yura Tipo IP

OTRAS PROPIEDADES

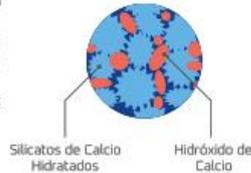


Debido a su contenido de puzolana natural de origen volcánico, hace que el CEMENTO MULTIPROPÓSITO YURA IP desarrolle con el tiempo resistencias a la compresión superiores a otros tipos de cemento.

Los silicatos de la puzolana reaccionan con el hidróxido de calcio liberado de la reacción de hidratación del cemento formando silicatos cálcicos que son compuestos hidráulicos que le dan una resistencia adicional al cemento, superando a otros tipos de cemento que no contienen puzolana.

CON CEMENTO TIPO I

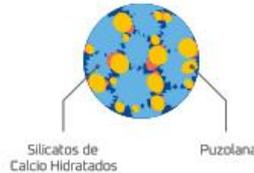
El cemento Tipo I produce un 75% de silicatos de calcio hidratados que generan resistencia a la compresión, el otro 25% es hidróxido de calcio que no ofrece resistencia y es susceptible a los ataques químicos, produciendo erosiones y/o expansiones.



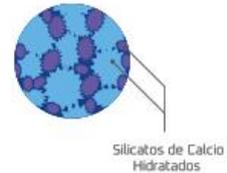
CON CEMENTO MULTI-PROPÓSITO DE ALTA DURABILIDAD YURA IP



Hidróxido de calcio
reacciona con la puzolana



Reacción puzolánica
produce más Silicatos
de Calcio Hidratados



La puzolana que contiene el cemento MULTI-PROPÓSITO YURA IP, reacciona con el hidróxido de calcio, produciendo más Silicatos de Calcio Hidratados, lo que otorga mayor resistencia, sellando los poros logrando un concreto más resistente e impermeable.

02

RESISTENCIA AL ATAQUE DE SULFATOS Y CLORUROS



El hidróxido de calcio, liberado en la hidratación del cemento, reacciona con los sulfatos produciendo sulfato de calcio que genera una expansión del 18% y produce también etringita que es el compuesto causante de la fisuración del concreto.

Debido a la capacidad de la puzolana de Yura para fijar este hidróxido de calcio liberado y a su mayor impermeabilidad, el CEMENTO MULTI-PROPÓSITO YURA IP es resistente a los sulfatos, cloruros y al ataque químico de otros iones agresivos.

03

MAYOR IMPERMEABILIDAD



El CEMENTO MULTI-PROPÓSITO YURA IP, produce mayor cantidad de silicatos cálcicos, debido a la reacción de los silicatos de la puzolana con los hidróxido de calcio producidos en la hidratación del cemento disminuyendo la porosidad, así el concreto se hace más impermeable y protege a la estructura metálica de la corrosión.



BENEFICIOS AMBIENTALES

- Menor emisión de gases de efecto invernadero durante su fabricación.
- Cemento fabricado con menor emisión de CO₂.

04

CONTRARRESTA LA REACCIÓN NOCIVA ÁLCALI - AGREGADO



El CEMENTO MULTI-PROPÓSITO YURA IP ha demostrado en ensayos de laboratorio la efectividad de su puzolana en controlar la expansión causada por la reacción entre los agregados reactivos de mala calidad y los álcalis del cemento.



05

MENOR CALOR DE HIDRATACIÓN

La reacción química de hidratación del cemento genera calor, calentando la mezcla de concreto, lo que la expande y cuando esta reacción termina, se enfría y contrae, generando fisuras y grietas. El cemento multi-propósito YURA Tipo IP, debido al contenido de puzolana reduce el calor generado en la reacción, disminuyendo la expansión térmica, evitando la presentación de fisuras en el concreto e impidiendo el ingreso de agentes externos dañinos.

RECOMENDACIONES DE USO



- Curado adecuado con abundante agua.
- Mantener humectada la superficie para lograr la mayor resistencia y evitar fisuramiento por excesivo secado.
- Tomar precauciones para el adecuado curado en vaciados cuando se presentan bajas temperaturas.
- Asesorarse siempre con un profesional de la construcción/ingeniero civil.

RECOMENDACIONES DE SEGURIDAD

- El contacto con este producto provoca irritación cutánea e irritación ocular grave, evite el contacto directo en piel y mucosas.
- En caso de contacto con los ojos, lavar con abundante agua limpia.
- En caso de contacto con la piel, lavar con agua y jabón.
- Para su manipulación es obligatorio el uso de los siguientes elementos de protección:



Botas impermeables



Protección respiratoria



Guantes impermeables



Protección ocular

ALMACENAMIENTO

Para mantener el cemento en óptimas condiciones, se recomienda:



- Almacenar en recinto seco, bajo techo, separado de piso y paredes, protegido de la intemperie.



- Protegerlos contra la humedad o corriente de aire húmedo.



- En caso de almacenamiento prolongado, cubrir el cemento con polietileno.



- No apilar más de 10 bolsas o en 2 pallet de altura.

PRESENTACIONES DISPONIBLES

BOLSAS DE 25 KG

Ergonómico. Ideal para proyectos pequeños y pocas áreas de almacenamiento.

BOLSAS DE 42.5 KG

Ideal para proyectos medianos y pequeños, o con accesos complicados y pocas áreas de almacenamiento.

BIG BAG 1.5 TM

Para proyectos mineros y de gran construcción, requiere la utilización de equipos de carga.

GRANEL

Abastecido en bombonas para descargar en silos contenedores.

NORMAS TÉCNICAS

NORMA DE PAÍS	NORMA	DENOMINACIÓN	
NORMA TÉCNICA PERUANA	NTP 334.090	Cemento Portland Pozolánico	TIPO IP
NORMA CHILENA OFICIAL	NCh 148 Of.68	Cemento Pozolánico	GRADO CORRIENTE
NORMA AMERICANA	ASTM C595	Portland Pozzolan Cement	TYPE IP
NORMA BOLIVIANA	NB-011	Cemento Pozolánico	TIPO P-30
NORMA TÉCNICA ECUATORIANA	NTE INEN 490	Cemento Portland Pozolánico	TIPO IP
NORMA BRASILEIRA	NBR 16697	Cimento Portland Pozolánico	TIPO CP IV-25 RS
NORMA TÉCNICA COLOMBIANA	NTC 121	Cemento Hidráulico uso general	TIPO UG



EL CEMENTO MULTI-PROPÓSITO YURA IP es un Cemento Portland Pozolánico, que cumple con la Norma Técnica Peruana NTP 334.090 y la Norma Americana ASTM C595, según lo señalado en el Reglamento Técnico sobre Cemento Hidráulico utilizado en Edificaciones y Construcciones en General (DS N° 001-2022-PRODUCE)



DURACIÓN

Almacenar y consumir de acuerdo a la Fecha de Fabricación, utilizando el más antiguo. Se recomienda que el cemento sea utilizado antes de la Fecha Recomendada de Uso que se indica en el envase.



Cuidemos juntos el
MEDIO AMBIENTE.



Big Bag:
Se sugiere reciclar el envase



Bolsas:
Se sugiere reciclar el envase

YURA S.A. RUC: 20312372895
Planta: Carretera a Yura km. 26 (Estación Yura)
Yura - Arequipa
Telf.: (054) 49 5060
www.yura.com.pe

[f](#) [in](#) [yt](#) [ig](#) /CementoYuraPeru

HECHO EN PERÚ



Anexo 07. Propiedades del agua de lluvia

Figura 6

Datos de la muestra del agua de lluvia

LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA		GOBIERNO REGIONAL CAJAMARCA		INACAL	
LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA		LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL ORGANISMO DE ACREDITACIÓN INACAL-DA CON REGISTRO N° LE-084		DA - Perú Laboratorio de Ensayo Acreditado	
INFORME DE ENSAYO N° IE 05240604-I⁽¹⁾					
DATOS DEL CLIENTE					
Razon Social/Nombre	BARBOZA SAAVEDRA JOSE ROMARIO ALEXANDER				
Dirección	Carlos Eckle 270 - Chota				
Persona de contacto	BARBOZA SAAVEDRA JOSE ROMARIO ALEXANDER	Correo electrónico	barbozajoseromario180@gmail.com		
DATOS DE LA MUESTRA					
Fecha del Muestreo	28.05.24	Hora de Muestreo	7:50 a 7:47		
Responsable de la toma de muestra	Cliente	Plan de muestreo N°	-		
Procedimiento de Muestreo	-				
Tipo de Muestreo	Puntual				
Número de puntos de muestreo	02				
Ensayos solicitados	Químicos Instrumentales- Físicoquímicos				
Breve descripción del estado de la muestra	Las muestras cumplen con los requisitos de volumen, preservación y conservación				
Referencia de la Muestra:	Cajamarca				
DATOS DE CONTROL DEL LABORATORIO					
N° Contrato	SC-725	Cadena de Custodia	CC - 0604 - 24		
Fecha y Hora de Recepción	28.05.24	08:33	Inicio de Ensayo	28.05.24	08:40
Reporte Resultado	10.06.24	15:30			
LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA					
					
Firmado digitalmente por NEYRA JAICO Edder Miguel FALU 20453744168 soft Motivo: Soy el autor del documento Fecha: 12/06/2024 04:30 p. m.					
Edder Neyra Jaico Responsable de Laboratorio CIP: 147028					
Cajamarca, 12 de Junio de 2024					
<small>JR. LUIS ALBERTO SÁNCHEZ S/N. URB. EL BOSQUE, CAJAMARCA - PERÚ e-mail: laboratorio del agua@regioncajamarca.gob.pe / laboratorio del agua@hotmail.com FONDO 399000 anexo 1140.</small>					
<small>Página: 1 de 3</small>					

Figura 7

Propiedades Fisicoquímicos del Agua de Lluvia



**LABORATORIO REGIONAL
DEL AGUA**

LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA
GOBIERNO REGIONAL CAJAMARCA
**LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL
ORGANISMO DE ACREDITACIÓN INACAL- DA
CON REGISTRO N° LE-084**



INACAL
DA - Perú
Laboratorio de Clase
Acreditado
Registro N°LE - 084

INFORME DE ENSAYO N° IE 05240604-I⁽¹⁾

ENSAYOS			Químicos Instrumentales- Fisicoquímicos					
Código de la Muestra	Muestra 01	Muestra 02	-	-	-	-	-	-
Código Laboratorio	05240604-01	05240604-02	-	-	-	-	-	-
Matriz	Natural	Natural	-	-	-	-	-	-
Descripción	Superficial- Deposición Atmosférica	Superficial- Deposición Atmosférica	-	-	-	-	-	-
Localización de la Muestra	Cajamarca	Cajamarca	-	-	-	-	-	-
Parámetro	Unidad	LCM	Resultados de Químicos Instrumentales y Fisicoquímicos					
Fluoruro (F ⁻)	mg/L	0.0380	<LCM	<LCM	-	-	-	-
Cloruro (Cl ⁻)	mg/L	0.0650	0.362	0.338	-	-	-	-
Nitrito (NO ₂ ⁻)	mg/L	0.0500	<LCM	<LCM	-	-	-	-
Bromuro (Br ⁻)	mg/L	0.0350	<LCM	<LCM	-	-	-	-
Nitrato (NO ₃ ⁻)	mg/L	0.0640	0.494	0.479	-	-	-	-
Sulfato (SO ₄ ²⁻)	mg/L	0.0700	1.003	0.972	-	-	-	-
Fosfato (PO ₄ ³⁻)	mg/L	0.0320	0.046	0.060	-	-	-	-
pH a 25°C	pH	NA	7.53	7.52	-	-	-	-
Sólidos Totales	mg/L	2.5	18.0	17.5	-	-	-	-
Alcalinidad Total (CaCO ₃)	mg CaCO ₃ /L	0.85	10.8	10.5	-	-	-	-

Leyenda: LCM: Límite de Cuantificación del Método, valor <LCM significa que la concentración del analito es mínima (trazas)



Firmado digitalmente por
LOPEZ LEON Freddy Humberto
FAU 20433744168 soft
Motivo: Visto en señal de
conformidad
Fecha: 12/06/2024 08:59 a. m.

LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA

JR. LUIS ALBERTO SÁNCHEZ S/N. URB. EL BOSQUE, CAJAMARCA - PERÚ
e-mail: laboratorio del agua@regioncajamarca.gob.pe / laboratorio del agua@hotmail.com FONDO 399000 anexo 1140.

Cajamarca, 12 de Junio de 2024

Página: 2 de 3

Figura 8

Métodos de ensayo utilizados



**LABORATORIO REGIONAL
DEL AGUA**

LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA
GOBIERNO REGIONAL CAJAMARCA
**LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL
ORGANISMO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA**
CON REGISTRO N° LE-084



INACAL
DA - Perú
Laboratorio de Ensayo
Acreditado

Registro N° LE - 084

INFORME DE ENSAYO N° IE 05240604-I⁽¹⁾

Ensayo	Unidad	Método de Ensayo Utilizado
Aniones (Fluoruro, Cloruro, Nitrito, Bromuro, Sulfato, Nitrato, Fosfato, N-NO2, N-NO3, P-PO4, N-NO2+N-NO3)	mg/L	EPA Method 300.1 Rev. 1.0 1997 (VALIDADO - Aplicado fuera del alcance). 2017. Determination of Inorganic Anions in Drinking Water by Ion Chromatography.
Potencial de Hidrógeno (pH) a 25°C	pH	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500-H+ B, 24 th Ed. 2023: pH Value. Electrometric Method
Sólidos Totales	mg/L	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2540 B, 24 th Ed. 2023: Solids. Total Solids Dried at 103 - 105 °C
Alcalinidad Total (CaCO3)	mg/L	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2320 B, 24 th Ed. 2023 : Alkalinity. Titration Method

NOTAS FINALES

(*) Los resultados obtenidos corresponden a métodos y/o matriz que no han sido acreditados por el INACAL - DA.

(**) Los Resultados son referenciales, no cumplen los requisitos de volumen, tiempo, preservación o conservación estipulado por el método, por lo tanto no se encuentra dentro del alcance de acreditación.

- ✓ Los resultados indicados en este informe concierne única y exclusivamente a las muestras recibidas y sometidas a ensayo o realizadas en campo por el Laboratorio Regional del Agua . Cuando la toma de muestra lo realiza el cliente los resultados aplican a las muestras como son recibidas.
- ✓ La reproducción parcial de este informe no está permitida sin la autorización por escrito del Laboratorio Regional del Agua. Este informe no será válido si presenta tachaduras o enmiendas.
- ✓ Las muestras sobre los que se realicen los ensayos se conservaran en Laboratorio Regional del Agua de acuerdo al tiempo de perecibilidad que indica el método de ensayo y por un tiempo máximo de 10 días luego de la emisión de la informe de ensayo; luego serán eliminadas salvo pedido expreso del cliente.
- ✓ Este documento al ser emitido sin el símbolo de acreditación, no se encuentra dentro del marco de la acreditacion otorgada por INACAL-DA.
- ✓ Se prohíbe el uso del símbolo de acreditación o la declaración de condición de acreditado emitida en este informe, por parte del cliente.
- ✓(1) El presente informe reemplaza al informe de ensayo IE 05240604. Se corrigió el Nombre y Dirección del cliente, a solicitud del cliente.

"Fin del documento"

Código del Formato: P-23-F01 Rev:N°02 Fecha : 03/07/2020

Cajamarca, 12 de Junio de 2024

**LABORATORIO REGIONAL
DEL AGUA**



Firmado digitalmente por
COLINA VENEGAS Juan Jose
FAU 20453744168 soft
Motivo: Visto en señal de
conformidad
Fecha: 12/06/2024 09:18 a. m.

JR. LUIS ALBERTO SÁNCHEZ 5/N. URB. EL BOSQUE, CAJAMARCA - PERÚ
e-mail:laboratoriodelagua@regioncajamarca.gob.pe / laboratoriodelagua@hotmail.com FON0:599000 anexo 1140.

Página: 3 de 3

Anexo 08. Diseño de Mezcla del Ecoladrillo

A. Características de los agregados

Tabla 41

Propiedades del Residuo de Ladrillo

Propiedades del Residuo de Ladrillo	Unidad	Resultados
Módulo de fineza	-	6.91
Peso unitario seco compactado	g/cm ³	1.10
Peso unitario suelto seco	g/cm ³	1.01
Peso específico aparente	g/cm ³	2.56
Peso específico de masa	g/cm ³	1.90
Peso específico saturado superficialmente seco	g/cm ³	2.16
Absorción	%	13.53
Contenido de humedad	%	1.28

Tabla 42

Propiedades del Aserrín

Propiedades del Aserrín	Unidad	Resultados
Módulo de fineza	-	2.82
Peso unitario seco compactado	g/cm ³	0.19
Peso unitario suelto seco	g/cm ³	0.14
Peso específico aparente	g/cm ³	1.22
Peso específico de masa	g/cm ³	0.46
Peso específico saturado superficialmente seco	g/cm ³	1.08
Absorción	%	136.98
Contenido de humedad	%	55.62

Tabla 43*Propiedades de la Arena para Ecoladrillo*

Propiedades de la Arena para Ecoladrillo	Unidad	Resultados
Módulo de fineza	-	2.73
Peso unitario seco compactado	g/cm ³	1.84
Peso unitario suelto seco	g/cm ³	1.56
Peso específico aparente	g/cm ³	2.64
Peso específico de masa	g/cm ³	2.50
Peso específico saturado superficialmente seco	g/cm ³	2.56
Absorción	%	2.04
Contenido de humedad	%	1.95

B. Determinación resistencia promedio requerida F'cr

No se tiene una investigación de resistencia de probetas de tareas anteriores por lo que usará la tabla que sigue, dada por ACI:

Tabla 44*Resistencia especificada a la compresión*

Resistencia especificada a la compresión, kg/m²	Resistencia promedio requerida a la compresión, kg/m²
F'c < 210	F'cr = F'c + 70
210 ≤ F'c ≤ 350	F'cr = F'c + 84
F'c > 350	F'cr = F'c + 98

Nota. Fuente. Norma ACI 211

F'c = 180 kg/cm² < 210 kg/cm², la resistencia a la compresión promedio requerida F'cr es:

$$F'_{cr} = F'c + 70 \quad (21)$$

Entonces: F'cr = 180 + 70 = **250 kg/cm²**

C. Tamaño Máximo Nominal

Tamaño Máximo Nominal: 3/4"

D. Contenido de Aire

Tabla 45

Contenido de Aire

Tamaño Máximo Nominal	Aire Atrapado
3/8"	3.0%
1/2"	2.5%
3/4"	2.0%
1"	1.5%
1 1/2"	1.0%
2"	0.5%
3"	0.3%
6"	0.2%

Nota. Fuente. Norma ACI 211

Para un T.M.N de 3/4", 2.0 % de aire atrapado.

E. Volumen Unitario de Agua

Tabla 46

Volumen Unitario de Agua

Asentamiento	3/8"	1/2"	3/4"	1"	1 1/2"	2"	3"	6"
Concretos Sin Aire Incorporado								
1" a 2"	207	199	190	179	166	154	130	113
3" a 4"	228	216	205	193	181	169	145	124
6" a 7"	243	228	216	202	190	178	160	---
Concretos Con Aire Incorporado								
1" a 2"	181	175	168	160	150	142	122	107
3" a 4"	202	193	184	175	165	157	133	119
6" a 7"	216	205	197	184	174	166	154	---

Nota. Fuente. Norma ACI 211

Agua = 190 l/m³ Para un slump de 1" a 2", sin aire incorporado.

F. Relación agua/cemento

Tabla 47

Relación agua /cemento por peso

F'cr a los 28 días (MPa)	Relación agua /cemento por peso	
	Concreto sin aire incluido	Concreto con aire incluido
150	0.80	0.71
200	0.70	0.61
250	0.62	0.53
300	0.55	0.46
350	0.48	0.40
400	0.43	---
450	0.38	---

Nota. Fuente. Norma ACI 211

F'cr = 250 kg/cm², se tiene la relación: a/c = 0.62

Relación: a/c = 0.62

G. Factor Cemento

Se tiene relación a/c=0.62, entonces se tiene la ecuación

$$\frac{190}{C} = 0.62 \quad (22)$$

C= 306.45 kg

Factor Cemento = C/42.5, se tiene:

Factor Cemento = 306.45 /42.5 = 7.21 bls

Factor Cemento = 7.21 bls

H. Contenido Agregado Grueso

Tabla 48

Volumen de Agregado Grueso Seco

T.M.N del Agregado	Volumen de Agregado Grueso Seco y Compactado, por Volumen Unitario de Concreto para diferentes Módulos de Fineza de la Arena			
	2.40	2.60	2.80	3.00
3/8"	0.50	0.48	0.46	0.44
1/2"	0.59	0.57	0.55	0.53
3/4"	0.66	0.64	0.62	0.60
1"	0.71	0.69	0.67	0.65
1 1/2"	0.76	0.74	0.72	0.70
2"	0.78	0.76	0.74	0.72
3"	0.81	0.79	0.77	0.75
6"	0.87	0.85	0.83	0.81

Nota. Fuente. Norma ACI 211

T.M.N del Agregado Grueso: 3/4"

Módulos de Fineza de la Arena: 2.73

Interpolamos:

2.60	2.73	2.80
0.64	X	0.62

$$X = 0.626534$$

Ahora reemplazos en la ecuación:

$$P. \text{ Agregado grueso} = X \times P.U.S.C \quad (23)$$

$$\text{Peso agregado grueso} = X \times P.U.S.C$$

$$\text{Peso agregado grueso} = 0.626534 \times 1110 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{Peso agregado grueso} = 686.06 \text{ kg}$$

I. Volumen Absoluto

- **Cemento**

Para calcular el volumen de cemento se tiene la relación:

$$\text{Cemento} : \frac{\text{P. Cemento}}{\text{P. Específico del Cemento}} \quad (24)$$

$$\text{Cemento} : \frac{306.45 \text{ kg}}{2750 \text{ kg/m}^3}$$

$$\text{Cemento} : 0.111 \text{ m}^3$$

- **Aire**

$$\text{Aire} : \frac{2.00}{100}$$

$$\text{Aire} : 0.02 \text{ m}^3$$

- **Agua**

Para calcular el volumen de agua se tiene la ecuación:

$$\text{Agua} = \frac{\text{Vol. unitario de Agua}}{\text{P. Específico del Agua}} \quad (25)$$

$$\text{Agua} : \frac{190}{999}$$

$$\text{Agua} : 0.19 \text{ m}^3$$

- **Agreg. grueso**

Para calcular el volumen de agregado grueso se tiene la ecuación:

$$\text{Vol. A. G} = \frac{\text{P. A. Grueso}}{\text{P. Específico del A. Grueso}} \quad (26)$$

$$\text{Vol. A. G} : \frac{686.07 \text{ kg}}{1900 \text{ kg/m}^3}$$

$$\text{Vol. A. G} : \mathbf{0.361 \text{ m}^3}$$

$$\text{Suma de volúmenes} = \mathbf{0.682 \text{ m}^3}$$

- **Agreg. fino (arena y aserrín)**

Se calcula con la ecuación siguiente:

$$\text{Vol A. F.} = 1\text{m}^3 - \text{Suma de volúmenes} \quad (27)$$

$$\text{Vol A. F.} = 1\text{m}^3 - 0.682 \text{ m}^3$$

$$\text{Vol A. F.} = \mathbf{0.318 \text{ m}^3}$$

Para calcular el volumen de aserrín, se consideró el 10% del volumen del agregado fino y el volumen de la arena el 90% restante

Volumen de aserrín

$$\text{Vol Aserrín.} = 0.1 \times 0.318 \text{ m}^3$$

$$\text{Vol Aserrín.} = \mathbf{0.0318 \text{ m}^3}$$

Volumen de arena

$$\text{Vol Arena.} = 0.9 \times 0.318 \text{ m}^3$$

$$\text{Vol Arena.} = \mathbf{0.286 \text{ m}^3}$$

J. Diseño en Estado Seco

- **Cemento:** 306.45 kg/m³
- **Agregado Fino (Aserrín):** 14.49 kg/m³
- **Agregado Fino (Arena):** 715.78 kg/m³
- **Agregado Grueso (Residuo de Ladrillo):** 686.07 kg/m³
- **Agua de lluvia:** 190 l/m³

K. Corrección por Humedad de los agregados

$$P_{\text{HÚMEDO}} = P_{\text{SECO}} \times \left(1 + \frac{W\%}{100}\right) \quad (28)$$

- Agregado fino (Aserrín):

Contenido de humedad: 55.62 %

Peso húmedo del aserrín:

$$P_{\text{HÚMEDO ASERRÍN}} = P_{\text{SECO}} \times \left(1 + \frac{55.62}{100}\right)$$

$$P_{\text{HÚMEDO ASERRÍN}} = 14.49 \times \left(1 + \frac{55.62}{100}\right)$$

$$\mathbf{P_{\text{HÚMEDO ASERRÍN}} = 22.56 \text{ kg/m}^3}$$

- Agregado fino (Arena):

Contenido de humedad: 1.95 %

Peso húmedo de la arena:

$$P_{\text{HÚMEDO ARENA}} = P_{\text{SECO}} \times \left(1 + \frac{1.95}{100}\right)$$

$$P_{\text{HÚMEDO ARENA}} = 715.78 \times \left(1 + \frac{1.95}{100}\right)$$

$$\mathbf{P_{\text{HÚMEDO ARENA}} = 729.74 \text{ kg/m}^3}$$

- Agregado grueso (Residuo de ladrillo):

Contenido de humedad: 1.28 %

Peso húmedo del agregado grueso:

$$P_{\text{HÚMEDO A.G.}} = P_{\text{SECO}} \times \left(1 + \frac{1.28}{100}\right)$$

$$P_{\text{HÚMEDO A.G.}} = 686.07 \times \left(1 + \frac{1.28}{100}\right)$$

$$\mathbf{P_{\text{HÚMEDO A.G.}} = 694.86 \text{ kg/m}^3}$$

L. Aporte de agua a la mezcla

$$\text{Aporte agua} = \frac{(\%W - \%Abs)}{100} \times A. \text{Seco} \quad (29)$$

- Agregado fino (Aserrín):

Contenido de humedad: 55.62 %

Absorción: 136.98 %

$$\text{Aporte agua del aserrín} = \frac{(55.62 - 136.98)}{100} \times 14.49$$

$$\text{Aporte agua del aserrín} = -11.79 \text{ lt/m}^3$$

- Agregado fino (Arena):

Contenido de humedad: 1.95 %

Absorción: 2.02 %

$$\text{Aporte agua de la arena} = \frac{(1.95 - 2.04)}{100} \times 715.78$$

$$\text{Aporte agua de la arena} = -0.64 \text{ lt/m}^3$$

- Agregado grueso (Residuo de ladrillo):

Contenido de humedad: 1.28 %

Absorción: 13.53 %

$$\text{Aporte agua del A. G.} = \frac{(1.28 - 13.53)}{100} \times 686.07$$

$$\text{Aporte agua del A. G.} = -84.07 \text{ lt/m}^3$$

$$\text{Suma de aporte de agua} = -96.50 \text{ lt/m}^3$$

$$\text{Agua efectiva} = 190 - (-96.50) \text{ lt/m}^3$$

$$\text{Agua efectiva} = 286.50 \text{ lt/m}^3$$

M. Diseño corregido por humedad

Los pesos de los materiales previamente corregidos por la humedad del agregado, que se utilizarán en la mezcla serán:

- **Cemento:** 306.45 kg/m³
- **Agregado Fino (Aserrín):** 22.56 kg/m³
- **Agregado Fino (Arena):** 729.74 kg/m³
- **Agregado Grueso (Residuo de Ladrillo):** 694.86 kg/m³
- **Relación agua de lluvia - cemento efectiva:** 0.93

N. Dosificación en Peso

$$\frac{306.45}{306.45} : \frac{22.56}{306.45} : \frac{729.74}{306.45} : \frac{694.86}{306.45} : \frac{286.50}{306.45}$$

$$1 : 0.07 : 2.38 : 2.27 : 0.93$$

O. Dosificación en Volumen

$$1 : 0.51 : 2.25 : 3.33 : 0.93$$

Anexo 09. Proporción de mezcla del mortero

Tabla 49

Proporción de mezcla del mortero

TIPOS DE MORTERO				
TIPO	COMPONENTES			USOS
	CEMENTO	CAL	ARENA	
P1	1	0 a 1/4	3 a 3 1/2	Muros Portantes
P2	1	0 a 1/2	4 a 5	Muros Portantes
NP	1	-	Hasta 6	Muros No Portantes

Nota. Se usó la proporción 1:4. Tomado de Reglamento Nacional de Edificaciones, Norma E.070 Albañilería, 2006.

Anexo 10: Resistencia a compresión de los cubos del mortero.

Medidas de los cubos de mortero para ensayo a compresión

Tabla 50

Medidas de los cubos de mortero para ensayo a compresión

Esp.	LARGO					ANCHO					ALTURA				
	L1	L2	L3	L4	Prom.	A1	A2	A3	A4	Prom.	H1	H2	H3	H4	Prom.
P-1	5.10	5.10	5.00	5.00	5.05	5.00	5.00	5.00	4.90	4.98	5.10	5.00	5.00	5.00	5.03
M-2	4.90	4.90	4.90	5.00	4.93	5.00	5.00	4.90	5.00	4.98	5.00	5.00	4.90	5.00	4.98
M-3	5.00	5.00	5.10	5.10	5.05	5.10	5.00	5.00	5.00	5.03	5.10	5.00	5.00	4.90	5.00
M-4	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.10	5.00	5.00	5.03	5.00	5.10	5.10	5.00	5.05
M-5	5.00	5.10	5.00	5.10	5.05	5.00	5.00	5.10	5.10	5.05	5.00	5.00	4.90	4.90	4.95

Resistencia a compresión de los cubos del mortero

Tabla 51

Resistencia a compresión de los cubos del mortero

Esp.	Dimensiones (cm)			Área Bruta (cm ²)	Carga Ult. (KN)	Carga Ult. (kg)	Resistencia f'c (kg/cm ²)
	Largo	Ancho	Altura				
M-1	5.05	4.98	5.03	25.12	49.21	5018.02	199.73
M-2	4.93	4.98	4.98	24.50	48.50	4945.62	201.85
M-3	5.05	5.03	5.00	25.38	47.81	4875.26	192.12
M-4	5.00	5.03	5.05	25.13	49.63	5060.85	201.43
M-5	5.05	5.05	4.95	25.50	48.75	4971.12	194.93
Promedio de la resistencia a compresión de cubos de mortero (F'c)							198.01
Desviación estándar (?)							4.29
Resistencia característica a compresión de cubos de mortero (F'c)							193.72
Coeficiente de variación (%)							2.17

Anexo 11. Propiedades físicas y mecánicas de ecoladrillos

Dimensiones de los ecoladrillos para ensayo a compresión

Tabla 52

Medidas de los ecoladrillos para ensayo a compresión

Esp.	Largo (cm)					Ancho (cm)					Altura (cm)				
	L1	L2	L3	L4	Prom.	A1	A2	A3	A4	Prom.	H1	H2	H3	H4	Prom.
M-1	22.90	23.10	23.10	23.00	23.03	11.90	12.10	12.00	12.00	12.00	9.00	8.90	8.90	8.90	8.93
M-2	22.90	23.10	23.10	23.00	23.03	12.00	12.10	12.10	12.00	12.05	8.90	9.00	8.90	8.90	8.93
M-3	22.90	23.10	23.00	23.00	23.00	12.00	12.10	12.00	12.00	12.03	9.00	9.00	8.90	9.00	8.98
M-4	22.90	23.10	23.10	23.00	23.03	12.10	12.00	12.10	12.10	12.08	8.90	9.00	8.90	8.90	8.93
M-5	22.80	23.10	23.00	23.00	22.98	11.90	12.20	12.00	12.00	12.03	9.00	9.00	8.90	8.90	8.95

Variación dimensional de ecoladrillos

Tabla 53

Variación Dimensional de ecoladrillos

Esp.	Largo (cm)					Ancho (cm)					Altura (cm)				
	L1	L2	L3	L4	Prom.	A1	A2	A3	A4	Prom.	H1	H2	H3	H4	Prom.
M-1	22.90	23.10	23.10	23.00	23.03	11.90	12.10	12.00	12.00	12.00	9.00	8.90	8.90	8.90	8.93
M-2	22.90	23.10	23.10	23.00	23.03	12.00	12.10	12.10	12.00	12.05	8.90	9.00	8.90	8.90	8.93
M-3	22.90	23.10	23.00	23.00	23.00	12.00	12.10	12.00	12.00	12.03	9.00	9.00	8.90	9.00	8.98
M-4	22.90	23.10	23.10	23.00	23.03	12.10	12.00	12.10	12.10	12.08	8.90	9.00	8.90	8.90	8.93
M-5	22.80	23.10	23.00	23.00	22.98	11.90	12.20	12.00	12.00	12.03	9.00	9.00	8.90	8.90	8.95
M-6	22.90	23.10	23.00	23.10	23.03	11.90	12.20	12.00	12.00	12.03	9.00	9.00	8.80	9.00	8.95
M-7	23.00	23.10	23.10	23.10	23.08	12.00	12.30	12.10	12.10	12.13	9.00	9.00	9.10	9.00	9.03
M-8	23.00	23.20	23.10	23.10	23.10	12.00	12.30	12.10	12.10	12.13	9.00	8.90	8.80	9.00	8.93
M-9	23.10	23.20	23.20	23.10	23.15	12.00	12.30	12.00	12.10	12.10	8.90	8.90	9.00	9.00	8.95
M-10	23.20	23.10	23.00	23.10	23.10	12.10	12.20	12.00	12.10	12.10	9.00	9.00	8.90	9.00	8.98
Largo promedio (Lp)					23.05	Ancho promedio (Ap)				12.07	Altura promedio (Hp)				8.95
Medida del ladrillo					23.00	Medida del ladrillo				12.00	Medida del ladrillo				9.00
Variación dimensional (%)					-0.22	Variación dimensional (%)				-0.54	Variación dimensional (%)				0.53

Alabeo

Tabla 54

Alabeo de ecoladrillos

Esp.	Cara A		Cara B		Alabeo (mm)
	Cóncavo	Convexo	Cóncavo	Convexo	
M-1	0.5	0.5	0.5	0.0	0.5
M-2	1.0	0.3	0.0	1.0	1.0
M-3	0.5	1.5	1.0	0.0	1.5
M-4	0.0	0.0	0.0	0.5	0.5
M-5	0.0	0.0	0.5	0.0	0.5
M-6	1.0	0.4	0.5	0.0	1.0
M-7	0.0	0.5	0.0	0.5	0.5
M-8	0.5	0.0	0.5	1.0	1.0
M-9	0.5	0.5	0.0	0.4	0.5
M-10	1.0	0.5	0.0	0.0	1.0
Prom. Alabeo					0.80

Resistencia a la compresión de ecoladrillos

Tabla 55

Resistencia a la compresión de ecoladrillos

Esp.	Dimensiones (cm)			Área Bruta (cm ²)	Carga Última (kg)	Resistencia f' b	
	Largo	Ancho	Altura			(kg/cm ²)	(MPa)
M-1	23.03	12.00	8.93	276.30	55500.00	200.87	19.70
M-2	23.03	12.05	8.93	277.45	55000.00	198.23	19.44
M-3	23.00	12.03	8.98	276.58	56000.00	202.48	19.86
M-4	23.03	12.08	8.93	278.03	56500.00	203.22	19.93
M-5	22.98	12.03	8.95	276.27	54500.00	197.27	19.35
M-6	23.03	12.03	8.95	276.88	56000.00	202.26	19.83
M-7	23.08	12.13	9.03	279.78	55000.00	196.58	19.28
M-8	23.10	12.13	8.93	280.09	54500.00	194.58	19.08
M-9	23.15	12.10	8.95	280.12	55500.00	198.13	19.43
M-10	23.10	12.10	8.98	279.51	56500.00	202.14	19.82

Promedio de la resistencia a compresión de ecoladrillos	199.58	19.57
Desv. estándar (σ)	2.99	0.29
Resistencia característica a compresión de ecoladrillos ($f'm$)	196.59	19.28
Coefficiente de variación (%)	1.50	1.50

Absorción de ecoladrillos

Tabla 56

Absorción de ecoladrillos

Espécimen	P. Seco (g)	P. Saturado (g)	Abs. %
P-1	5120	4740	7.42
P-2	4888	4532	7.28
P-3	4939	4589	7.09
P-4	4985	4632	7.08
P-5	4859	4501	7.37
P-6	4870	4512	7.35
P-7	4889	4531	7.32
P-8	4959	4595	7.34
P-9	4980	4617	7.29
P-10	4869	4511	7.35
Promedio de absorción (PAbs)			7.29
Desviación estándar (σ)			0.12
Absorción (Abs)			7.17
Coefficiente de variación (%)			1.58

Anexo 12. Ensayo de compresión axial de pilas

Dimensiones de las pilas de ecoladrillos

Tabla 57

Dimensiones de las pilas de ecoladrillos

Esp.	Largo (cm)					Ancho (cm)					Altura (cm)				
	L.1	L.2	L.3	L.4	Prom.	A.1	A.2	A.3	A.4	Prom.	H.1	H.2	H.3	H.4	Prom.
M-1	23.10	23.10	23.10	23.00	23.08	12.00	12.00	12.10	12.10	12.05	29.10	29.30	29.30	29.30	29.25
M-2	23.10	23.10	23.00	23.10	23.08	12.00	12.10	12.10	12.00	12.05	29.00	29.10	29.10	29.20	29.10
M-3	23.10	23.20	23.10	23.00	23.10	12.10	12.00	12.20	12.10	12.10	29.30	29.20	29.20	29.30	29.25
M-4	23.00	23.10	23.10	23.20	23.10	12.10	12.20	12.10	12.10	12.13	29.20	29.30	29.20	29.30	29.25
M-5	23.10	23.00	23.10	23.00	23.05	12.00	12.00	12.20	12.20	12.10	29.40	29.20	29.30	29.20	29.28

Resistencia a compresión axial de las pilas de ecoladrillos

Tabla 58

Resistencia a compresión axial de las pilas de ecoladrillos

Esp.	Dimensiones (cm)			Área Bruta (cm ²)	Carga Última (kg)	Res. Específica (kg/cm ²)	hp/tp	Fc	Resistencia a compresión (fmt)	
	Largo	Ancho	Altura						(kg/cm ²)	(MPa)
M-1	23.08	12.05	29.25	278.05	25000.00	89.91	2.43	1.034	92.98	9.12
M-2	23.08	12.05	29.10	278.05	23500.00	84.52	2.41	1.033	87.32	8.56
M-3	23.10	12.10	29.25	279.51	22500.00	80.50	2.42	1.033	83.19	8.16
M-4	23.10	12.13	29.25	280.09	24000.00	85.69	2.41	1.033	88.51	8.68
M-5	23.05	12.10	29.28	278.91	25500.00	91.43	2.42	1.034	94.50	9.27
Promedio de la resistencia a compresión axial de la albañilería (fmt)									89.30	8.76
Desviación estándar (σ)									4.54	0.45
Resistencia característica a compresión axial de la albañilería (f'm)									84.76	8.31
Coeficiente de variación (%)									5.09	5.09

Esfuerzo y deformación de las pilas

Tabla 59

Esfuerzo vs deformación pila N° 1

Espécimen	N° 1	Largo (cm)	= 23.08
Carga U. (kg)	= 25000.00	Ancho (cm)	= 12.05
Área	= 278.05	Alto (cm)	= 29.25
Carga Kg	Deformación (mm)	Esfuerzo kg/cm2	Deformación unitaria
1000	0.09	3.60	0.000308
2000	0.33	7.19	0.001128
3000	0.48	10.79	0.001641
4000	0.64	14.39	0.002188
5000	0.77	17.98	0.002632
6000	0.86	21.58	0.002940
7000	0.96	25.17	0.003282
8000	1.06	28.77	0.003624
9000	1.15	32.37	0.003932
10000	1.25	35.96	0.004274
11000	1.33	39.56	0.004547
12000	1.41	43.16	0.004821
13000	1.48	46.75	0.005060
14000	1.59	50.35	0.005436
15000	1.65	53.95	0.005641
16000	1.72	57.54	0.005880
17000	1.79	61.14	0.006120
18000	1.86	64.74	0.006359
19000	2.1	68.33	0.007179
20000	2.18	71.93	0.007453
21000	2.3	75.52	0.007863
22000	2.44	79.12	0.008342
23000	2.55	82.72	0.008718
24000	2.64	86.31	0.009026
25000	2.74	89.91	0.009368

Tabla 60*Esfuerzo vs deformación pila N° 2*

Espécimen	N° 2	Largo (cm)	=	23.08
Carga U. (kg)	= 23500.00	Ancho (cm)	=	12.05
Área	= 278.05	Alto (cm)	=	29.10
Carga Kg	Deformación mm	Esfuerzo kg/cm2		Deformación unitaria
1000	0.05	3.60		0.000172
2000	0.22	7.19		0.000756
3000	0.43	10.79		0.001478
4000	0.6	14.39		0.002062
5000	0.75	17.98		0.002577
6000	0.86	21.58		0.002955
7000	0.94	25.17		0.003230
8000	1.06	28.77		0.003643
9000	1.13	32.37		0.003883
10000	1.23	35.96		0.004227
11000	1.32	39.56		0.004536
12000	1.41	43.16		0.004845
13000	1.51	46.75		0.005189
14000	1.56	50.35		0.005361
15000	1.63	53.95		0.005601
16000	1.72	57.54		0.005911
17000	1.8	61.14		0.006186
18000	1.89	64.74		0.006495
19000	2.01	68.33		0.006907
20000	2.15	71.93		0.007388
21000	2.26	75.52		0.007766
22000	2.37	79.12		0.008144
23000	2.45	82.72		0.008419
23500	2.56	86.31		0.008797

Tabla 61*Esfuerzo vs deformación pila N° 3*

Espécimen	N° 3	Largo (cm)	=	23.10
Carga U. (kg)	= 22500.00	Ancho (cm)	=	12.10
Área	= 279.51	Alto (cm)	=	29.25
Carga Kg	Deformación mm	Esfuerzo kg/cm2	Deformación unitaria	
1000	0.04	3.58	0.000137	
2000	0.23	7.16	0.000786	
3000	0.39	10.73	0.001333	
4000	0.54	14.31	0.001846	
5000	0.69	17.89	0.002359	
6000	0.82	21.47	0.002803	
7000	0.92	25.04	0.003145	
8000	1.04	28.62	0.003556	
9000	1.19	32.20	0.004068	
10000	1.32	35.78	0.004513	
11000	1.42	39.35	0.004855	
12000	1.53	42.93	0.005231	
13000	1.63	46.51	0.005573	
14000	1.87	50.09	0.006393	
15000	2.06	53.67	0.007043	
16000	2.15	57.24	0.007350	
17000	2.24	60.82	0.007658	
18000	2.35	64.40	0.008034	
19000	2.46	67.98	0.008410	
20000	2.54	71.55	0.008684	
21000	2.74	75.13	0.009368	
22000	2.85	78.71	0.009744	
22500	2.95	82.29	0.010085	

Tabla 62*Esfuerzo vs deformación pila N° 4*

Espécimen	N° 4	Largo (cm)	=	23.10
Carga U. (kg)	= 24000.00	Ancho (cm)	=	12.13
Área	= 280.09	Alto (cm)	=	29.25
Carga Kg	Deformación mm	Esfuerzo kg/cm2	Deformación unitaria	
1000	0	3.57	0.000000	
2000	0.14	7.14	0.000479	
3000	0.25	10.71	0.000855	
4000	0.43	14.28	0.001470	
5000	0.62	17.85	0.002120	
6000	0.78	21.42	0.002667	
7000	0.9	24.99	0.003077	
8000	1.03	28.56	0.003521	
9000	1.16	32.13	0.003966	
10000	1.31	35.70	0.004479	
11000	1.44	39.27	0.004923	
12000	1.54	42.84	0.005265	
13000	1.66	46.41	0.005675	
14000	1.96	49.98	0.006701	
15000	2.1	53.55	0.007179	
16000	2.23	57.13	0.007624	
17000	2.35	60.70	0.008034	
18000	2.48	64.27	0.008479	
19000	2.68	67.84	0.009162	
20000	2.78	71.41	0.009504	
21000	2.89	74.98	0.009880	
22000	2.97	78.55	0.010154	
23000	3.05	82.12	0.010427	
24000	3.15	85.69	0.010769	

Tabla 63*Esfuerzo vs deformación pila N° 5*

Espécimen	N° 5	Largo (cm)	=	23.05
Carga U. (kg)	= 25500.00	Ancho (cm)	=	12.10
Área	= 278.91	Alto (cm)	=	29.28
Carga Kg	Deformación mm	Esfuerzo kg/cm2		Deformación unitaria
1000	0.1	3.59		0.000342
2000	0.2	7.17		0.000683
3000	0.27	10.76		0.000922
4000	0.37	14.34		0.001264
5000	0.46	17.93		0.001571
6000	0.57	21.51		0.001947
7000	0.68	25.10		0.002323
8000	0.78	28.68		0.002664
9000	0.89	32.27		0.003040
10000	0.99	35.85		0.003382
11000	1.04	39.44		0.003553
12000	1.13	43.03		0.003860
13000	1.21	46.61		0.004133
14000	1.27	50.20		0.004338
15000	1.36	53.78		0.004646
16000	1.45	57.37		0.004953
17000	1.55	60.95		0.005295
18000	1.64	64.54		0.005602
19000	1.73	68.12		0.005909
20000	1.86	71.71		0.006354
21000	1.94	75.29		0.006627
22000	2.06	78.88		0.007037
23000	2.15	82.47		0.007344
24000	2.26	86.05		0.007720
25500	2.36	91.43		0.008061

Figura 9

Diagrama Esfuerzo vs Deformación Unitaria de Pilas

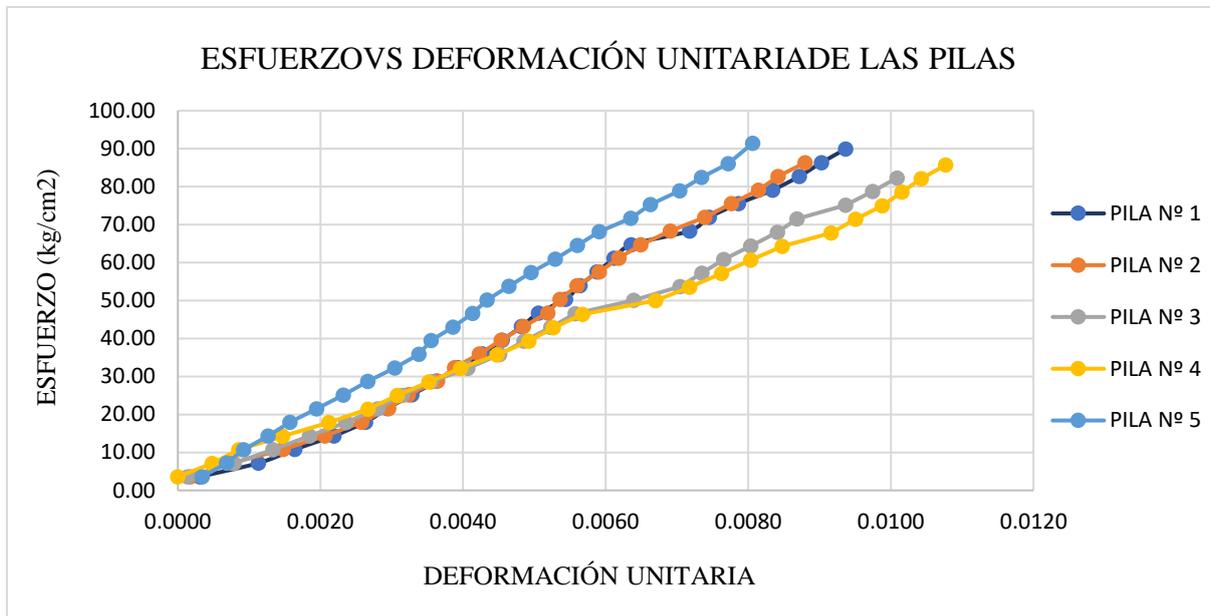


Tabla 64

Factores de corrección hp/tp para resistencia a compresión de prismas de albañilería

<i>hp/tp</i>	1.3	1.5	2.0	2.5	3.0	4.0	5.0
Factor de corrección (Fc)	0.75	0.86	1.00	1.04	1.07	1.15	1.22

Nota. Fuente Tomado de NTP 399.605 2018. UNIDADES DE ALBAÑILERÍA. Método de ensayo para la determinación de la resistencia a compresión de prismas de albañilería

Anexo 14. Panel Fotográfico

Figura 10

Ensayo de Granulometría del Residuo de Ladrillo



Figura 11

Ensayo de Granulometría del Aserrín de madera de pino



Figura 12

Ensayo de Granulometría de la Arena



Figura 13

Ensayo de Peso Específico del Residuo de Ladrillo



Figura 14

Ensayo de Peso Específico del Aserrín



Figura 15

Ensayo de Peso Específico de la Arena



Figura 16

Ensayo de Peso Unitario del Residuo de Ladrillo



Figura 17

Ensayo de Peso Unitario del Aserrín



Figura 18

Ensayo de Peso Unitario de la Arena



Figura 19

Recolección y Toma de Muestra de Agua de Lluvia



Figura 20

Preparación de la Mezcla de Concreto



Figura 21

Medición del Slump de la Mezcla de Concreto



Figura 22

Ecoladrillos con Residuo de Ladrillo, Aserrín y Agua de Lluvia



Figura 23

Ensayo de Contenido de Humedad de la Arena para Mortero



Figura 24

Ensayo de Peso Unitario de Arena para Mortero



Figura 25

Ensayo de Peso Específico de la Arena para Mortero



Figura 26

Ensayo de Variación Dimensional de Unidades



Figura 27

Ensayo de Alabeo de Unidades



Figura 28

Ensayo de Resistencia a Compresión de Unidades



Figura 29

Ensayo de Resistencia a Compresión Axial de Pilas



Figura 30

Ensayo de Resistencia a Compresión de Cubos de Mortero



Figura 31

Ensayo de Absorción de Ecoladrillos

