

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



TESIS

**“INFLUENCIA DE LA ADICIÓN DE POLIESTIRENO EXPANDIDO
RECICLADO EN LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN DE UN CONCRETO
F’C=210 KG/CM² EN LA CIUDAD DE CAJAMARCA – 2024.”**

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE

INGENIERO CIVIL

PRESENTADO POR:

BACH. GUSTAVO ALEXIS GUEVARA TAMAY

ASESOR:

ING MARCOS MENDOZA LINARES

CAJAMARCA, PERÚ

2024

CONSTANCIA DE INFORME DE ORIGINALIDAD

- FACULTAD DE INGENIERÍA -

1. **Investigador:** Bach. Guevara Tamay Gustavo Alexis

DNI: 70983268

Escuela Profesional: Ingeniería Civil

2. **Asesor:** Ing. Mendoza Linares Marcos

Facultad: Ingeniería

3. **Grado académico o título profesional**

Bachiller

Título profesional

Segunda especialidad

Maestro

Doctor

4. **Tipo de Investigación:**

Tesis

Trabajo de investigación

Trabajo de suficiencia profesional

Trabajo académico

5. **Título de Trabajo de Investigación:**

"INFLUENCIA DE LA ADICIÓN DE POLIESTIRENO EXPANDIDO RECICLADO EN LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN DE UN CONCRETO F'C=210 KG/CM2 EN LA CIUDAD DE CAJAMARCA – 2024."

6. **Fecha de evaluación:** 10/10/2024

7. **Software antiplagio:**

TURNITIN

URKUND (OURIGINAL) (*)

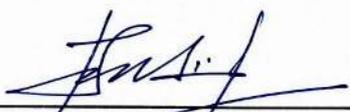
8. **Porcentaje de Informe de Similitud:** 17%

9. **Código Documento:** oid:3117:390735203

10. **Resultado de la Evaluación de Similitud:**

APROBADO PARA LEVANTAMIENTO DE OBSERVACIONES O DESAPROBADO

Fecha Emisión: 11/10/2024



FIRMA DEL ASESOR

Nombres y Apellidos: Marcos Mendoza Linares

DNI: 26612819

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA
FACULTAD DE INGENIERÍA
UNIDAD DE INVESTIGACIÓN



UNIDAD DE INVESTIGACIÓN FI
DIRECTORA

AGRADECIMIENTO

A mi familia, que siempre me apoyó incondicionalmente para lograr todos mis objetivos, por sus enseñanzas, consejos, su ejemplo de lucha y, sobre todo, porque nunca dejaron de creer en mí. Gracias a ellos. este sueño de ser profesional será realidad.

A mi alma mater, la Universidad Nacional de Cajamarca, donde adquirí los conocimientos necesarios gracias a su excelente formación académica y personal, que me prepararon para ser un buen profesional.

Al Ing. Marcos Mendoza Linares por su asesoramiento en la presente investigación mediante su guía y conocimiento.

A mis docentes, amigos y compañeros de universidad, quienes con sus consejos y apoyo contribuyeron significativamente a mi formación profesional.

DEDICATORIA

A mi madre,
por ser la persona que siempre confió en mí
y me motivó a cumplir cada una de mis metas,
por ser una fuente incondicional de inspiración y superación,
porque a ella le debo lo que soy y todo lo que llegaré a ser en esta vida

ÍNDICE DE CONTENIDO

AGRADECIMIENTO	i
DEDICATORIA.....	ii
ÍNDICE DE CONTENIDO	iii
ÍNDICE DE TABLAS	vi
ÍNDICE DE FIGURAS	ix
RESUMEN.....	xi
ABSTRACT.....	xii
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN	1
1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	1
1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	2
1.3. HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN.....	2
1.4. DEFINICIÓN DE VARIABLES	2
1.4.1. Variable independiente	2
1.4.2. Variable dependiente	2
1.5. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN.....	2
1.6. ALCANCES O DELIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN	3
1.6.1. Alcances	3
1.6.2. Delimitaciones	4
1.7. LIMITACIONES	4
1.8. OBJETIVOS	5
1.8.1. Objetivo general	5
1.8.2. Objetivos específicos.....	5
1.9. DESCRIPCIÓN DE LOS CAPÍTULOS DE INVESTIGACIÓN	5
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO	7
2.1. ANTECEDENTES TEÓRICOS DE LA INVESTIGACIÓN.	7
2.1.1. Antecedentes internacionales	7
2.2.2. Antecedentes nacionales.....	8
2.2. BASES TEÓRICAS.	9
2.2.1. Concreto.....	9
2.2.2. Componentes del concreto.....	9
2.2.3. Propiedades del concreto fresco.....	11
2.2.4. Propiedades del concreto endurecido.....	12
2.2.5. Poliestireno expandido	13

2.2.6. Diseño de mezcla por el método de módulo de fineza de la combinación de los agregados	15
2.2.7. Elaboración y curado de especímenes de concreto.....	15
2.3. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS	16
CAPÍTULO III. MATERIALES Y MÉTODOS.....	17
3.1. UBICACIÓN GEOGRÁFICA.....	17
3.1.1. Ubicación geográfica de la investigación	17
3.1.2. Ubicación geográfica del origen de los agregados.....	17
3.2. PERIODO DE ESTUDIO	18
3.3. METODOLOGÍA.....	18
3.3.1. Tipo, nivel, diseño y método de investigación	18
3.3.2. Población de estudio	19
3.3.3. Muestra	19
3.3.4. Unidad de análisis	20
3.3.5. Unidad de observación	20
3.4. PROCEDIMIENTO	21
3.4.1. Agregados Convencionales	22
3.4.2. Poliestireno expandido reciclado	22
3.4.3. Propiedades físicas de los Agregados	23
3.4.4. Diseño de mezcla	31
3.4.5. Adición del poliestireno expandido reciclado.....	33
3.4.6. Elaboración y curado de especímenes de concreto.....	33
3.4.7. Determinación de Propiedades de concreto en Estado Fresco.....	34
3.4.8. Determinación de Propiedades de concreto en Estado endurecido	35
3.5. TRATAMIENTO, ANÁLISIS DE DATOS Y PRESENTACIÓN DE RESULTADOS	37
3.5.1. Tratamiento y análisis de datos	37
3.5.2. Presentación de resultados	37
CAPÍTULO IV. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS	46
4.1. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS DE LAS PROPIEDADES DE LOS AGREGADOS.....	46
4.1.1. Análisis Granulométrico	46
4.1.2. Materiales más finos que pasa el tamiz N°200	46
4.1.3. Peso Unitario	46
4.1.4. Peso Específico y Absorción.....	46
4.1.5. Contenido de Humedad.....	47
4.1.6. Resistencia a la Abrasión	47
4.2. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DEL DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO	47

4.3.	ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LAS PROPIEDADES DEL CONCRETO EN ESTADO FRESCO.....	47
4.3.1.	Asentamiento del concreto en estado fresco	47
4.3.2.	Peso unitario del concreto en estado fresco (densidad).....	47
4.3.3.	Temperatura del concreto en estado fresco	48
4.4.	ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LAS PROPIEDADES DEL CONCRETO EN ESTADO ENDURECIDO.....	48
4.4.1.	Peso Unitario del concreto en estado endurecido (densidad)	48
4.4.2.	Resistencia a Compresión del Concreto	48
4.5.	CONTRASTE DE HIPÓTESIS	49
	CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	50
5.1.	CONCLUSIONES.....	50
5.2.	RECOMENDACIONES	51
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	52
	ANEXOS.....	56

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1	Valor critico Z para nivel de confianza deseado.....	19
Tabla 2	Cantidad de probetas por diseño de mezcla.	20
Tabla 3	Resumen de las propiedades de los agregados.....	37
Tabla 4	Volúmenes absolutos de los materiales con adición de poliestireno expandido reciclado.	38
Tabla 5	Pesos de los materiales corregidos por humedad con adición de poliestireno expandido reciclado.	38
Tabla 6	Resultados de los asentamientos de las tandas de concreto con adición de EPS reciclado.	39
Tabla 7	Resultados de los pesos unitarios del concreto en estado fresco con adición de EPS reciclado.	39
Tabla 8	Resultados de las temperaturas medidas del concreto en estado fresco con adición de EPS reciclado.	41
Tabla 9	Resultados de los pesos unitarios del concreto en estado endurecido con adiciones de EPS reciclado.	41
Tabla 10	Resistencia a compresión promedio del concreto con adición de EPS reciclado..	43
Tabla 11	Análisis granulométrico del agregado fino muestra M1.....	56
Tabla 12	Análisis granulométrico del agregado fino muestra M2.....	57
Tabla 13	Análisis granulométrico del agregado fino muestra M3.....	58
Tabla 14	Análisis granulométrico del agregado grueso muestra M1.	59
Tabla 15	Análisis granulométrico del agregado grueso muestra M2.	60
Tabla 16	Análisis granulométrico del agregado grueso muestra M3.	61
Tabla 17	Partículas menores que pasan el tamiz N°200 para el agregado fino.....	62
Tabla 18	Partículas menores que pasan el tamiz N°200 para el agregado grueso.	62
Tabla 19	Peso específico del agua.	63
Tabla 20	Factor f del recipiente.....	63
Tabla 21	Peso unitario suelto agregado fino.....	63

Tabla 22	Peso unitario compactado agregado fino	64
Tabla 23	Peso específico del agua.	64
Tabla 24	Factor f del recipiente.....	64
Tabla 25	Peso Unitario suelto del agregado grueso.....	65
Tabla 26	Peso Unitario compactado del agregado grueso.....	65
Tabla 27	Resultados de ensayo de Peso Especifico y Absorción del agregado fino.	65
Tabla 28	Resultados de ensayo de Peso Especifico y Absorción del agregado grueso.	66
Tabla 29	Resultados de contenido de humedad del agregado fino.....	66
Tabla 30	Resultados de contenido de humedad de agregado grueso.....	67
Tabla 31	Resistencia a la Abrasión del agregado grueso.....	67
Tabla 32	Volumen unitario de agua.....	68
Tabla 33	Contenido de aire.....	68
Tabla 34	Relación agua-cemento (a/c) por resistencia.	69
Tabla 35	Módulo de fineza de la combinación de agregados.....	69
Tabla 36	Diseño de mezcla concreto patrón $f'c=210 \text{ Kg/cm}^2$	70
Tabla 37	Adición del 10% de poliestireno expandido reciclado en el concreto patrón $f'c=210\text{Kg/cm}^2$	72
Tabla 38	Adición del 15% de poliestireno expandido reciclado en el concreto patrón $f'c=210\text{Kg/cm}^2$	73
Tabla 39	Adición del 20% de poliestireno expandido reciclado en el concreto patrón $f'c=210\text{Kg/cm}^2$	75
Tabla 40	Adición del 25% de poliestireno expandido reciclado en el concreto patrón $f'c=210\text{Kg/cm}^2$	76
Tabla 41	Resultados de los ensayos de peso unitario de concreto en estado fresco con adición de EPS reciclado.	78
Tabla 42	Resultados de ensayos de peso unitario de concreto en estado endurecido con adición de EPS reciclado.	79

Tabla 43 Resultados de ensayos a compresión del concreto a edad de 7 días con adición de EPS reciclado.	80
Tabla 44 Resultados de ensayos a compresión del concreto a edad de 14 días con adición de EPS reciclado.	81
Tabla 45 Resultados de ensayos a compresión del concreto a edad de 28 días con adición de EPS reciclado.	82

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1	Ubicación del Laboratorio de Ensayo de Materiales UNC	17
Figura 2	Ubicación de la cantera "Aguilar"	18
Figura 3	Procedimiento de la investigación	21
Figura 4	Relación de los pesos unitarios promedio del concreto fresco con adiciones de EPS reciclado.	40
Figura 5	Ecuación polinómica de los pesos unitarios promedio del concreto fresco con adición de EPS reciclado.	40
Figura 6	Relación de los pesos unitarios promedio del concreto endurecido con adición de EPS reciclado.	42
Figura 7	Ecuación polinómica de los pesos unitarios promedio del concreto endurecido con adición de EPS reciclado.	43
Figura 8	Relación de las resistencias a la compresión promedio y las edades de ensayo del concreto con adición de EPS reciclado.	44
Figura 9	Resultados de las resistencias a la compresión promedio del concreto con adición de EPS reciclado.	44
Figura 10	Ecuación polinómica de las resistencias a la compresión del concreto con adición de EPS reciclado a los 28 días.	45
Figura 11	Curva de distribución granulométrica del agregado fino muestra M1	56
Figura 12	Curva de distribución granulométrica del agregado fino muestra M2.....	57
Figura 13	Curva de distribución granulométrica del agregado fino muestra M3.....	58
Figura 14	Curva de distribución granulométrica del agregado grueso muestra M1.	59
Figura 15	Curva de distribución granulométrica del agregado grueso muestra M2.	60
Figura 16	Curva de distribución granulométrica del agregado grueso muestra M3.	61
Figura 17	Acopio de agregados de la cantera "Aguilar".....	87
Figura 18	Ensayo de análisis granulométrico de agregados.....	87
Figura 19	Ensayo de peso unitario suelto y compactado del agregado grueso.	88
Figura 20	Ensayo de peso específico y absorción de agregado grueso.	88

Figura 21	Ensayo de materiales más finos que pasan tamiz N°200.	89
Figura 22	Ensayo de resistencia a la abrasión.	89
Figura 23	Elaboración de probetas patrón de concreto.	90
Figura 24	Reciclado de poliestireno expandido	90
Figura 25	Tamizado de poliestireno expandido triturado.....	91
Figura 26	Incorporación del poliestireno expandido en la mezcla de concreto.	91
Figura 27	Medida de asentamiento del concreto con adición de 10% de poliestireno expandido reciclado.	92
Figura 28	Probetas de concreto con adición de 10 y 15% de EPS reciclado.....	92
Figura 29	Probetas de concreto con adición de 20% y 25% de EPS reciclado.....	93
Figura 30	Curado de las probetas de concreto con adición de EPS reciclado.....	93
Figura 31	Rotura de probetas de concreto patrón a edad de 7 días.....	94
Figura 32	Fractura tipo III de probeta con adición de 10% de EPS reciclado a edad de 7 días.	94
Figura 33	Fractura tipo V de probeta de concreto con adición de 20% de EPS reciclado..	95
Figura 34	Rotura de probetas patrón a edad de 14 días.	95
Figura 35	Rotura de probetas de concreto con adición de 15% de EPS reciclado a edad de 14 días.....	96
Figura 36	Fracturas tipo III y V de probetas con adición de 25% de EPS reciclado a edad de 14 días.....	96
Figura 37	Distribución uniforme de partículas de EPS reciclado en el concreto.	97
Figura 38	Determinación del peso unitario de concreto en estado endurecido.	97
Figura 39	Rotura de probetas de concreto con adición de 25% de EPS reciclado a edad de 28 días.....	98
Figura 40	Rotura de probeta de concreto con adición de 25% de EPS reciclado a edad de 28 días.....	98

RESUMEN

El concreto es uno de los materiales de construcción más utilizados, pero enfrenta desafíos debido a la excesiva explotación de recursos naturales, lo que ha impulsado el interés en el uso de agregados reciclados, como el poliestireno expandido (EPS). Este material por su ligereza, propiedad aislante y resistencia a la humedad lo hacen viable para adicionar en el concreto. En Cajamarca, donde el crecimiento de infraestructura y la rehabilitación de edificios antiguos requieren el uso de materiales más ligeros y reciclados, la adición de EPS en el concreto podría mejorar algunas propiedades, optimizando con su uso la eficiencia energética de los edificios. La presente investigación tuvo como objetivo determinar la influencia del poliestireno expandido reciclado en la resistencia a la compresión de un concreto con resistencia $f'c=210$ kg/cm² en la ciudad de Cajamarca. Primero, se determinaron las propiedades físicas y mecánicas de los agregados. Con estos resultados, se diseñó la mezcla de concreto, elaborando 60 especímenes (12 para cada tipo de adición) que fueron ensayados a los 7, 14 y 28 días. Los resultados mostraron que la adición de 10%, 15%, 20% y 25% de poliestireno expandido reciclado influye en una disminución del 16.05%, 24.27%, 29.28% y 45.02% en la resistencia a la compresión y del 2.19%, 3.23%, 4.49% y 4.49% en la densidad, respectivamente, en comparación con un concreto patrón con $f'c = 210$ kg/cm². En general, tanto la resistencia a la compresión como la densidad del concreto disminuyen a medida que aumenta el porcentaje de adición del poliestireno expandido reciclado.

Palabras Claves: Concreto, Densidad, Poliestireno Expandido Reciclado, Resistencia a la Compresión.

ABSTRACT

Concrete is one of the most widely used construction materials, but it faces challenges due to the excessive exploitation of natural resources, which has driven interest in the use of recycled aggregates, such as expanded polystyrene (EPS). This material, due to its lightness, insulating properties and resistance to moisture, makes it viable for addition to concrete. In Cajamarca, where the growth of infrastructure and the rehabilitation of old buildings require the use of lighter and recycled materials, the addition of EPS to concrete could improve some properties, optimizing the energy efficiency of buildings with its use. The present research aimed to determine the influence of recycled expanded polystyrene on the compressive strength of a concrete with strength $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$ in the city of Cajamarca. First, the physical and mechanical properties of the aggregates were determined. With these results, the concrete mix was designed, preparing 60 specimens (12 for each type of addition) that were tested at 7, 14 and 28 days. The results showed that the addition of 10%, 15%, 20% and 25% of recycled expanded polystyrene influences a decrease of 16.05%, 24.27%, 29.28% and 45.02% in compressive strength and 2.19%, 3.23%, 4.49% and 4.49% in density, respectively, compared to a standard concrete with $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$. In general, both the compressive strength and density of concrete decrease as the addition percentage of recycled expanded polystyrene increases.

Key Words: Concrete, Density, Recycled Expanded Polystyrene, Compressive Strength.

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El concreto es uno de los materiales de construcción más utilizados en el mundo (Makul, 2020). No obstante, enfrenta grandes desafíos debido a la excesiva explotación de los recursos naturales. Como señala Fiol et al.(2018), este material tiene una gran responsabilidad en dirigir los procesos hacia un enfoque sostenible, promoviendo el uso de agregados reciclados. El poliestireno expandido (EPS) ha ganado interés por ser un polímero ampliamente utilizado en embalajes y productos de corta vida útil, lo que genera grandes volúmenes de residuos. Gracias a su ligereza, buenas propiedades aislantes y resistencia a la humedad, tiene el potencial de ser utilizado como aditivo parcial en el concreto, manteniendo la resistencia suficiente para elementos estructurales (Acosta et al. 2015). Además, Alemán Camacho et al. (2021) destacan la necesidad de evaluar diferentes porcentajes de adición de EPS para determinar su influencia en la densidad y resistencia a la compresión del concreto.

La ciudad de Cajamarca ha experimentado un notable crecimiento en infraestructura en los últimos años. Sin embargo, muchos de sus edificios antiguos que requieren rehabilitaciones o ampliaciones presentan estructuras deficientes, lo que demanda el uso de materiales más ligeros y reciclados. El concreto con adición de EPS reciclado podría ser una estrategia adecuada para mejorar las propiedades estructurales, reduciendo el peso y optimizando la eficiencia energética de los edificios. No obstante, uno de los principales desafíos es que la baja resistencia mecánica del EPS, en comparación con los agregados naturales, podría afectar la capacidad del concreto para soportar cargas. Por ello, es fundamental determinar la proporción óptima de EPS que asegure un concreto con propiedades mecánicas adecuadas, evaluando su resistencia a la compresión ($f'c=210$ kg/cm²), especialmente en las condiciones climáticas y geotécnicas propias de Cajamarca. Esta investigación busca llenar ese vacío, proporcionando información valiosa para el uso adecuado del EPS reciclado en la industria de la construcción de la región.

1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

¿En cuánto influye la adición de poliestireno expandido reciclado en la resistencia a compresión de un concreto $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$ en la ciudad de Cajamarca – 2024?

1.3. HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN

La adición de poliestireno expandido reciclado influye en un decremento del 5% en la resistencia a compresión y del 3% en la densidad, en comparación con un concreto patrón $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ en la ciudad de Cajamarca – 2024.

1.4. DEFINICIÓN DE VARIABLES

1.4.1. Variable independiente

- Adición de Poliestireno expandido reciclado

1.4.2. Variable dependiente

- Resistencia a compresión del concreto $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$.

1.5. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

En primer lugar, el uso de materiales alternativos y reciclados en la construcción está ganando mayor importancia debido a la creciente demanda de prácticas sostenibles. El poliestireno expandido (EPS) es un material comúnmente utilizado en productos de embalaje y aislamiento, pero su disposición final representa un problema ambiental debido a su alta durabilidad y resistencia a la degradación. Adicionar el EPS reciclado en el concreto podría contribuir a un mejor aprovechamiento de este material.

Desde una perspectiva técnica, es fundamental evaluar cómo la adición de poliestireno expandido reciclado afecta las propiedades mecánicas del concreto, en este caso, la resistencia a compresión, que es uno de los parámetros más críticos en la ingeniería civil. Este tipo de concreto podría ofrecer beneficios adicionales, como una menor densidad, lo que lo haría útil en aplicaciones específicas, especialmente en edificaciones que requieran rehabilitación o ampliación y el peso reducido sea una ventaja.

Por último, en el contexto local, Cajamarca está experimentando un crecimiento en la demanda de infraestructura, lo que impulsa la necesidad de materiales de construcción más accesibles y sostenibles que se adapten a las características geográficas y climáticas particulares de la región. Si se logra validar la viabilidad del concreto con EPS reciclado, esta investigación podría contribuir a generar soluciones innovadoras y más económicas para la construcción en la región, este estudio no solo busca aportar nuevos conocimientos científicos en el campo de la ingeniería civil, sino también ofrecer soluciones viables que contribuyan al desarrollo de la infraestructura local.

1.6. ALCANCES O DELIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN

Este estudio buscó analizar la influencia de la adición de poliestireno expandido (EPS) reciclado en la resistencia a compresión y la densidad de un concreto con $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$ en la ciudad de Cajamarca.

1.6.1. Alcances

- Los porcentajes de adición se determinaron según criterio personal, basados en antecedentes encontrados. Se observó que porcentajes de EPS inferiores al 10% no generan variaciones significativas en la densidad, mientras que porcentajes superiores al 30% no cumplen con la resistencia a la compresión de diseño, presentando una disminución considerable.
- El estudio se centrará exclusivamente en dos propiedades principales del concreto; la resistencia a compresión y la densidad, estos se medirán conforme a las normas técnicas vigentes y se comparará con el concreto patrón con el fin de evaluar la influencia del EPS en el concreto.
- El concreto patrón será diseñado con los mismos materiales y condiciones, sin la adición de EPS, y servirá como referencia para evaluar las propiedades del concreto adicionado.

- El estudio será realizado bajo las condiciones geográficas de Cajamarca, esto implica que los resultados pueden estar influenciados por las características locales del clima y los materiales disponibles, limitando su replicabilidad en otras regiones.

1.6.2. Delimitaciones

- La presente investigación se realizó utilizando agregados de la cantera Aguilar, ubicada en el río Chonta. Se empleó cemento Pacasmayo tipo I, poliestireno expandido reciclado proveniente de productos de embalaje y protección de electrodomésticos; triturado mecánicamente en tamaños comprendidos entre N° 3/8" (9.5 mm) y N° 4 (4.75 mm). El agua utilizada provino de la Universidad Nacional de Cajamarca.
- El diseño del concreto patrón se realizó para una resistencia a la compresión de $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$, evaluando adiciones de poliestireno expandido en porcentajes del 10%, 15%, 20% y 25% en volumen, con respecto al agregado grueso
- Los ensayos de resistencia a la compresión se realizaron en la Máquina Universal de compresión en probetas cilíndricas de 15 cm x 30 cm. a la edad de 7, 14 y 28 días de curado del laboratorio de Ensayo de Materiales de la UNC.

1.7. LIMITACIONES

- La investigación se limita a evaluar la resistencia a compresión y la densidad del concreto en condiciones climáticas locales de Cajamarca. La temperatura, humedad y altitud podrían afectar los resultados, lo que podría hacer que no sean directamente aplicables a otras regiones con condiciones ambientales diferentes.
- La investigación se enfoca en un solo diseño de mezcla de concreto con una resistencia especificada de $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$. Esto limita la extrapolación de los resultados a otros tipos de concreto con diferentes resistencias o aplicaciones.

1.8. OBJETIVOS

1.8.1. Objetivo general

Determinar la influencia de la adición de poliestireno expandido reciclado en la resistencia a compresión y la densidad en un concreto patrón $f'c = 210 \text{ Kg/cm}^2$ en la ciudad de Cajamarca – 2024.

1.8.2. Objetivos específicos

- Determinar la influencia de la adición del 10% de poliestireno expandido reciclado en la resistencia a compresión y en la densidad de un concreto patrón $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$.
- Determinar la influencia de la adición del 15% de poliestireno expandido reciclado en la resistencia a compresión y en la densidad de un concreto patrón $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$.
- Determinar la influencia de la adición del 20% de poliestireno expandido reciclado en la resistencia a compresión y en la densidad de un concreto patrón $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$.
- Determinar la influencia de la adición del 25% de poliestireno expandido reciclado en la resistencia a compresión y en la densidad de un concreto patrón $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$.

1.9. DESCRIPCIÓN DE LOS CAPÍTULOS DE INVESTIGACIÓN

- El capítulo I, contiene el planteamiento y formulación del problema, hipótesis, justificación, variables, limitaciones, objetivos de la investigación.
- El capítulo II, contiene los antecedentes internacionales, nacionales y locales que sirven como referencia del tema tratado en la presente investigación, así como también las bases teóricas que sirven como fundamento para la investigación y la definición de términos básicos.
- El capítulo III, contiene la ubicación y marco temporal en que se llevó a cabo la investigación, el procedimiento y descripción de la metodología para la recolección de datos, así como los instrumentos de medición y materiales para el desarrollo de la misma.

- El capítulo IV, contiene el análisis de los datos obtenidos de acuerdo a los objetivos planteados, así como propuestas de solución ante el problema que generó la investigación. Además, la discusión de los resultados y contrastación de hipótesis.
- El capítulo V, contiene las conclusiones para cada objetivo planteado y las recomendaciones para ampliar el conocimiento del problema de investigación.
- En los Anexos, se presentan los resultados de todos los ensayos de agregados y concreto, además de las fichas técnicas, constancia de laboratorio y panel fotográfico de la investigación.

CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO

2.1. ANTECEDENTES TEÓRICOS DE LA INVESTIGACIÓN.

2.1.1. Antecedentes internacionales

Arboleda Jaramillo & Salazar Gil (2020) en su investigación “Diseño de concreto liviano mediante adición de poliestireno para observar su resistencia y funcionalidad a diferentes porcentajes”, se realizó con el objetivo de determinar si es posible obtener un concreto liviano y estructuralmente eficiente al incorporar poliestireno expandido en proporciones volumétricas del 0%, 3%, 5% y 7% del volumen total de la mezcla. Para evaluar la resistencia, se prepararon muestras que fueron ensayadas a los 7, 14 y 28 días, basándose en un diseño de mezcla con una resistencia de 21 MPa. Los resultados de las muestras con adiciones del 3%, 5% y 7% se compararon con las del 0% para analizar el impacto del poliestireno como material aligerante. Los resultados indicaron que el uso de poliestireno como aligerante no cumplió con los requerimientos estructurales esperados. Sin embargo, se observó una diferencia notable en las áreas y pesos de los cilindros, lo que permitió concluir que, si bien el poliestireno expandido en grandes cantidades reduce la carga muerta de la estructura, no es adecuado para fines estructurales.

Lloor-Santos & Ruiz-Párraga (2024) en su tesis titulada “Análisis de resistencia del hormigón utilizando poliestireno expandido como alternativa constructiva de alivianamiento en viviendas de interés” el estudio realizado en Santo Domingo-Ecuador, efectuó un análisis comparativo de la resistencia de un hormigón de 210 kg/cm² reemplazando en volumen parte del agregado fino en proporciones del 10,15 y 20% por poliestireno expandido (EPS), para definir su viabilidad como una alternativa en la construcción de viviendas de interés social. Los resultados muestran una resistencia a la compresión reducida y un comportamiento frágil en los residuos de las probetas cilíndricas ensayadas, atribuido al deficiente control en la concentración de partículas de poliestireno expandido.

2.2.2. Antecedentes nacionales

Arzapalo Gonzales (2020) en su tesis “Evaluación de la influencia de las perlas de poliestireno expandido en el concreto 210 kg/cm², Lima - 2020”, se realizó la adición de perlas de poliestireno expandido en una dosificación de 10, 20 y 30% en el diseño de mezcla de un concreto 210 kg/cm², por lo que se elaboró un total de 24 probetas cilíndricas. El diseño de mezcla se elaboró con agregados obtenidos de la cantera yerba buena ubicado en el Distrito de Carabayllo. Los datos obtenidos mostraron que las resistencias a la compresión alcanzadas fueron muy cercanas a las requeridas para uso estructural. Esto llevó a la conclusión de que el concreto producido es de buena calidad.

Figueroa García (2019) en su tesis “Análisis del comportamiento a compresión del concreto ligero reemplazando el agregado grueso por perlas de poliestireno expandido”, se elaboraron mezclas de concreto estándar y cuatro mezclas adicionales con diferentes cantidades de perlas de poliestireno expandido, las cuales fueron incorporadas en la mezcla en sustitución del agregado grueso. Este reemplazo se realizó gradualmente primero reemplazando el 25% del Agregado Grueso en volumen por las perlas de Poliestireno Expandido, posteriormente se realizó con un 50%, 75% y 100%. Para dicho análisis se utilizaron materiales de la zona. Se realizaron los diseños con cemento HE, aditivo reductor de agua y retardante de fragua para obtener las condiciones deseadas de slump de 4” a 6”. El empleo de un reductor de agua y retardante de fragua contribuyó a mejorar la resistencia del concreto con 280 kg/m³ de cemento y una relación agua/cemento de 0.65. Además, se concluyó que, al incrementar la cantidad de perlas de poliestireno expandido, el asentamiento del concreto aumenta, mientras que su peso y resistencia a la compresión disminuyen.

Roldan Navarro (2023) en su tesis titulada “Evaluación de las propiedades del concreto simple con adición de poliestireno expandido para losas aligeradas”, se concluye que la adición de poliestireno expandido modifica de manera notable las propiedades del concreto simple destinado para losas aligeradas. Aunque se observa una leve disminución en la resistencia a compresión (f_c), esta sigue estando dentro de los rangos aceptables.

Asimismo, se registró un incremento del 67.90% en el contenido de aire, lo que hace que el concreto sea más liviano. Esto lo convierte en una opción viable para su uso en muros, aligerando las cargas estructurales y mejorando el confort térmico de los ocupantes. Los resultados de los ensayos mostraron que las propiedades del concreto con poliestireno expandido son inferiores en comparación con el diseño convencional de mezcla.

Rojas Rosas (2022) en su investigación titulada “Influencia de las perlas de poliestireno expandido en la resistencia a la compresión del concreto $f'c=260$ kg/cm² en la ciudad de Huánuco – 2019”, se empleó poliestireno expandido en proporciones del 3%, 5% y 7%. En el concreto fresco, se evaluaron el asentamiento y el peso unitario, mientras que en el concreto endurecido se midió la resistencia a la compresión. Los resultados de las muestras cilíndricas de concreto convencional indicaron un asentamiento de 3” y un peso unitario de 2338.63 kg/m³, con una resistencia a compresión ($f'c$) de 260 kg/cm². En las muestras con adición de poliestireno, se observó una disminución en el peso unitario y en la resistencia a la compresión en comparación con el concreto convencional. Sin embargo, el asentamiento aumentó en dichas muestras. Los resultados obtenidos sugieren que la inclusión de perlas de poliestireno reduce significativamente la resistencia a la compresión y disminuye el peso unitario del concreto en comparación con un diseño sin aditivos de poliestireno.

2.2. BASES TEÓRICAS.

2.2.1. Concreto

La NTP 339.047 (2023) lo define como un material compuesto por un medio adherente y partículas o fragmentos de agregados finos y gruesos; en el concreto de cemento hidráulico, el aglomerante se crea a partir de la mezcla de cemento hidráulico y agua.

2.2.2. Componentes del concreto

Según Aceros Arequipa (2024) el concreto está compuesto por cemento portland, agregado fino (arena gruesa), agregado grueso (piedra chancada), agua y aditivo según sea el propósito de mejorar o modificar algunas de sus propiedades.

2.2.2.1. Cemento

Cemex (2024) lo define como un aglutinante hidráulico, un material inorgánico finamente molido que, cuando se mezcla con agua, forma una pasta que se endurece, fragua y mantiene su resistencia y estabilidad. Este proceso se llama hidratación. Cuando esta se adiciona a los agregados actúa como un adhesivo y los une para formar concreto.

Actualmente, se fabrican diversos tipos de cemento Portland para aplicaciones específicas, de acuerdo con las normativas de cada país. En nuestro caso, contamos con la NTP 334.009, que se basa en la norma ASTM C 150 y abarca cinco tipos de cemento.

En la NTP 334.009 (2023) se indica el cemento portland tipo I como el apropiado para usos generales donde no se requiera propiedades específicas de otro tipo de cemento.

2.2.2.2. Agua

A lo largo de la vida del concreto, el agua es esencial tanto en la mezcla como en el curado, siempre y cuando cumpla con los requisitos de la NTP 339.088 (2024). Es crucial utilizar agua limpia y fresca, libre de residuos de aceites, ácidos, álcalis, sales, limo, materias orgánicas, arcilla, algas o cualquier sustancia perjudicial. Si se emplea agua de mezcla combinada con otras sustancias, esta debe cumplir con los límites máximos permisibles establecidos en la norma; de lo contrario, su uso no está permitido.

2.2.2.3. Agregados

La NTP 400.011 (2020) define al agregado como un material granular, como arena, grava, piedra triturada o escoria de alto horno, se emplea junto con un agente cementante para crear concreto de cemento hidráulico.

Agregado Fino:

Según la NTP 400.011 (2020) El agregado, que puede resultar de la desintegración natural o artificial, pasa por un tamiz de 9,5 mm (3/8") y se retiene en la malla N° 200, siendo la arena el más común. La gradación del agregado debe cumplir con los requisitos especificados en la NTP 400.037.

Agregado Grueso:

Para la NTP 400.011 (2020) es el agregado que queda retenido en el tamiz de 4,75 mm (Nº 4) proviene de la desintegración natural o mecánica de las rocas y se clasifica en piedra chancada y grava. Estos agregados pueden tener un perfil redondeado o angular y deben cumplir con los límites establecidos en la norma NTP 400.037.

2.2.3. Propiedades del concreto fresco

2.2.3.1. Consistencia

Es un nivel de plasticidad de una pasta de cemento hidráulico adecuado para realizar ensayos según una metodología especificada.(NTP 334.001, 2022)

2.2.3.2. Asentamiento

Es la medición de la consistencia que se observa como el descenso de la masa en estado plástico, después de retirar el molde metálico en el que se llevó a cabo el ensayo.(NTP 334.001, 2022)

2.2.3.2. Trabajabilidad

Para Rivva López (2014) es la propiedad del concreto en estado fresco que define su capacidad para ser manipulado, transportado, colocado y finalmente consolidado con el menor esfuerzo y la mayor homogeneidad posible, evitando la segregación del concreto.

2.2.3.3. Temperatura

La temperatura del concreto no debe causar problemas como una pérdida rápida de consistencia, un mayor riesgo de fisuras debido a contracciones mientras está en estado plástico durante el secado, una reducción del tiempo de fraguado inicial y final que dificulte su manipulación en estado fresco, ni provocar un fraguado demasiado rápido o la formación de juntas frías. Por eso, la temperatura del concreto no debe superar los 32°C al momento del vaciado y debe mantenerse por encima de los 10°C. (Norma E.060, 2020)

2.2.3.4. Peso unitario del concreto fresco (densidad)

El peso unitario se utiliza para describir la propiedad del concreto determinada por dicho ensayo, conocida como la masa por unidad de volumen (NTP 339.046, 2019).

Según la Norma E.060 (2020), el concreto de peso normal tiene un peso aproximado de 2300 kg/m^3 , mientras que el concreto estructural liviano posee una densidad de equilibrio, medida según el “Test Method for Determining Density of Structural Lightweight Concrete” (ASTM C 567), que no supera los 1850 kg/m^3 . La densidad es fundamental en los cálculos estructurales, ya que se utiliza para determinar el peso propio de la estructura.

2.2.4. Propiedades del concreto endurecido

2.2.4.1. Resistencia a la compresión

La resistencia a la compresión es la principal propiedad mecánica del concreto y se define como su capacidad para soportar una carga por unidad de área. Se expresa comúnmente en kg/cm^2 , MPa, y a veces en libras por pulgada cuadrada (psi). Los resultados de las pruebas de resistencia a la compresión se utilizan principalmente para garantizar que la mezcla de concreto cumpla con los requisitos de resistencia especificada (f'_c) para una estructura determinada. (Cemex, 2024)

La resistencia a la compresión se determina según la NTP 339.034 (2021) utilizando especímenes cilíndricos de concreto. El método consiste en aplicar una carga axial de compresión a una velocidad controlada y específica dentro de un rango preestablecido, hasta que se produzca la falla del material.

2.2.4.2. Peso unitario del concreto endurecido (densidad)

Esta propiedad se refiere a la cantidad de peso del material por unidad de volumen, medida en kilogramos por metro cúbico (kg/m^3). Según ACI 213 R (2014), el peso volumétrico del concreto ligero estructural típicamente oscila entre 1600 y 1920 kg/m^3 , aunque en algunos proyectos esta densidad de equilibrio alcanzó los 2080 kg/m^3 . Un factor importante que afecta el peso unitario del concreto es el tipo de agregado utilizado en su producción, ya que constituye la mayor parte de la mezcla total. El peso volumétrico del concreto disminuirá progresivamente a medida que se aumenten los porcentajes de adición de agregados livianos en la mezcla.

Para Matallana Rodríguez (2019) la densidad del concreto difiere entre su estado fresco y endurecido. En el estado fresco, la densidad es mayor debido a la evaporación parcial del agua. Esta diferencia entre ambos estados es aproximadamente del 7%.

2.2.5. Poliestireno expandido

Según ANAPE (2024), el poliestireno expandido (EPS) es un material plástico ligero y rígido, producido al moldear pequeñas perlas de poliestireno que han sido previamente expandidas. Estas perlas, o sus copolímeros, forman una estructura de celdas cerradas, llenas de aire.

2.2.5.1. Propiedades del poliestireno expandido

- **Resistencia Mecánica:** El EPS tiene una resistencia a la compresión de 300 kPa. Esto significa que, para cargas de 50 años, el EPS tiene una fluencia de alrededor de 125 kPa, con deformaciones inferiores al 2%. Esto demuestra que el EPS es muy duradero y prácticamente no se deforma cuando soporta grandes cargas de forma permanente o durante largos periodos de tiempo.
- **Aislamiento Térmico:** Los productos y materiales de EPS poseen una excelente capacidad de aislamiento térmico, tanto para el calor como para el frío.
- **Comportamiento en el agua:** El EPS no es higroscópico; cuando se sumerge completamente en agua, su nivel de absorción es mínimo, oscilando entre el 1% y el 3% en volumen.
- **Estabilidad dimensional:** Al igual que otros materiales, los productos de EPS experimentan variaciones dimensionales debido a la influencia térmica.
- **Estabilidad frente a la temperatura:** El EPS puede experimentar variaciones o alteraciones debido a la exposición térmica. No presenta limitaciones en cuanto a temperaturas bajas, pero su límite superior es de aproximadamente 100°C para exposiciones breves y cerca de 80°C para exposiciones continuas, cuando está sometido a una carga de 20 kPa.
- **Comportamiento frente a factores atmosféricos:** La exposición prolongada a la luz UV provoca que la superficie del EPS se vuelva amarilla y frágil, lo que facilita su

erosión por la lluvia y el viento. Estos efectos pueden prevenirse mediante medidas sencillas como el uso de pinturas, revestimientos y recubrimientos en aplicaciones de construcción.

2.2.5.2. Reciclaje del poliestireno expandido

Para García (2021) una de las principales ventajas del poliestireno expandido (EPS) es que es completamente reciclable. Este material, que está compuesto en un 98% por aire, es inerte, no tóxico y estable, lo que lo hace ideal para implementar en un ciclo de economía circular en la construcción. Existen varios procesos mecánicos para recuperar el EPS desechado. Si el material está limpio y en buen estado, el método más adecuado es triturarlo y mezclarlo con materia prima virgen para reutilizarlo en la fabricación de nuevos productos de EPS para la construcción, como aislantes, ladrillos porosos o concreto ligero.

2.2.5.3. Poliestireno expandido en el concreto

Alemán Camacho, W. et al. (2021) señalan que, a diferencia del concreto tradicional, en el concreto ligero se adicionan materiales de menor densidad. Esto lo hace más liviano, aunque con menor resistencia a la compresión, permitiendo reducir el peso propio de la estructura y minimizar las secciones de los elementos estructurales, lo que representa un ahorro en materiales. Los concretos modificados generalmente se utilizan en ensayos y proyectos que promueven la mejora y protección del medio ambiente. Sin embargo, existe cierta incertidumbre respecto a propiedades como la resistencia a la compresión y la densidad del concreto cuando los agregados finos y gruesos son sustituidos parcial o totalmente por poliestireno expandido.

Estudios muestran que hay investigaciones sobre las propiedades mecánicas de concretos modificados con adiciones parciales y totales de sus agregados por poliestireno expandido y otros materiales orientados a reducir el consumo energético y la contaminación ambiental. Sin embargo, no existe una normativa o dosificación válida que indique los porcentajes óptimos para estos concretos, y no se ha desarrollado una investigación que analice y compare los resultados de ensayos de las propiedades del concreto al añadir este

elemento. Es crucial evaluar las propiedades mecánicas de estos concretos para contribuir a la mejora del medio ambiente y al desarrollo y uso de productos innovadores.

2.2.6. Diseño de mezcla por el método de módulo de fineza de la combinación de los agregados

Según Rivva López (2014) en el método del módulo de fineza de la combinación de agregados, los contenidos de agregados fino y grueso varían según las diferentes resistencias del concreto. Esta variación depende principalmente de la relación agua-cemento y del contenido total de agua, que se expresan a través del contenido de cemento en la mezcla. Este método es esencialmente un índice de la superficie específica, y a medida que esta superficie aumenta, también lo hace la demanda de pasta. Si la cantidad de pasta se mantiene constante y se incrementa la fineza del agregado, la resistencia disminuye debido a su adherencia.

2.2.7. Elaboración y curado de especímenes de concreto

2.2.7.1. Elaboración de probetas

La elaboración de probetas de concreto se realiza acorde a la NTP 339.183 (2021) estas se realizan a partir de una sola cantidad o lote de materiales, lo más homogéneo posible, utilizando el mismo diseño de elaboración. Para llevar a cabo el ensayo de compresión o ruptura de muestras, se necesitan especímenes cilíndricos de dimensiones 15 x 30 cm, los cuales se almacenan durante 28 días antes de proceder con los ensayos correspondientes.

2.2.7.2. Curado de probetas:

Son las acciones tomadas para preservar la humedad y temperatura adecuadas en una mezcla de concreto recién colocada para facilitar la hidratación del cemento hidráulico y, si es necesario, las reacciones puzolánicas. Esto permite que las propiedades potenciales de la mezcla se desarrollen completamente. (NTP 339.047, 2023)

2.3. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS

- **Agregados para concreto:** Se refiere a un conjunto de partículas de origen natural o artificial, que pueden ser procesadas o elaboradas, y cuyas dimensiones están dentro de los límites establecidos por la NTP 400.037. (NTP 400.011, 2020)
- **Concreto:** Se trata de un material compuesto que principalmente contiene un aglutinante donde están embebidas partículas y fragmentos de agregado. En el caso del concreto de cemento hidráulico, el aglutinante se forma mediante una mezcla de cemento hidráulico y agua. (NTP 339.047, 2023)
- **Densidad:** Definido como el peso unitario, es decir, es la masa por unidad de volumen, su unidad de medida es el kilogramo por metro cúbico (kg/m³). (NTP 339.046, 2019)
- **Poliestireno expandido:** Es un material plástico rígido y celular que se produce mediante el moldeo de perlas preexpandidas de poliestireno expandible o de uno de sus copolímeros, caracterizado por tener una estructura celular cerrada y rellena de aire. (ANAPE, 2024)
- **Reciclaje:** Es una práctica que implica transformar residuos o elementos inútiles para aprovecharlos como recursos, reintegrándolos en ciclos de vida para fabricar nuevos productos, sin necesidad de utilizar nuevos recursos naturales.(García, 2021)
- **Resistencia a la compresión:** Es la capacidad de resistir una carga axial máxima aplicada durante el ensayo hasta que se produce la falla, en relación con el área de la sección transversal del espécimen. (NTP 339.034, 2021).

CAPÍTULO III. MATERIALES Y MÉTODOS.

3.1. UBICACIÓN GEOGRÁFICA

3.1.1. Ubicación geográfica de la investigación

La presente investigación fue realizada en el Laboratorio de Ensayo de Materiales “Carlos Esparza Días” de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Cajamarca, ubicada en Av. Atahualpa N° 1050, distrito de Cajamarca, provincia de Cajamarca, región de Cajamarca, con las siguientes coordenadas UTM 776610.30 E, 9207020.20 N, en la zona 17S - DATUM WGS 84.

Figura 1

Ubicación del Laboratorio de Ensayo de Materiales UNC



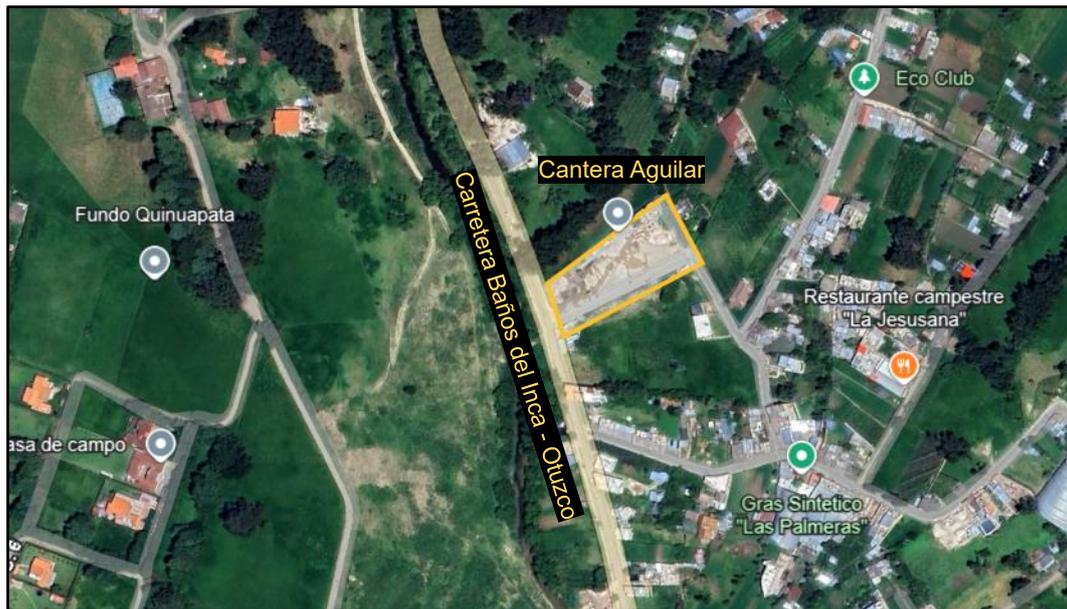
Fuente: Obtenido de Google Earth.

3.1.2. Ubicación geográfica del origen de los agregados

Los agregados naturales utilizados en la presente investigación provienen del Rio Chonta de la cantera “Aguilar”, la cual se ubica en la localidad de Tartar Chico, distrito de Baños del Inca, Provincia de Cajamarca, Región Cajamarca, las coordenadas UTM son 779896 E, 9208895 N en la ZONA 17S - DATUM WGS 84.

Figura 2

Ubicación de la cantera "Aguilar"



Fuente: Obtenido de Google Earth.

3.2. PERIODO DE ESTUDIO

El presente trabajo de investigación se realizó en un periodo de 6 meses, comprendido desde febrero hasta julio del 2024.

3.3. METODOLOGÍA

3.3.1. Tipo, nivel, diseño y método de investigación

- **Tipo de investigación.** El tipo de investigación será aplicada, ya que se enfoca en resolver un problema práctico relacionado con la adición de poliestireno expandido en el concreto para evaluar su resistencia a la compresión.
- **Nivel de investigación.** Por su nivel es una investigación correlacional ya que busca la relación de interdependencia entre el poliestireno expandido y cómo influye en la resistencia a compresión.
- **Diseño de la investigación.** Por la naturaleza de las variables es una investigación de diseño experimental ya que se manipula la variable independiente (poliestireno expandido reciclado) para determinar su efecto en la variable dependiente (Resistencia del concreto a compresión).

- **Método de la investigación.** El método de investigación es cuantitativo, ya que se recopilan datos numéricos que son procesados estadísticamente y analizados para explicar el efecto que la variable independiente tiene sobre la variable dependiente.

3.3.2. Población de estudio

La población de estudio lo constituyen los especímenes de concreto $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ con adición de poliestireno expandido (10%, 15%, 20% y 25%) y la mezcla de un concreto patrón $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$.

3.3.3. Muestra

Sera un muestreo probabilístico, tomando en cuenta que es una población infinita se tiene la siguiente formula:

$$n = \frac{Z^2 * p * q}{e^2}$$

Donde:

n = Tamaño de muestra buscado.

Z = Parámetro estadístico que depende del Nivel de Confianza

p = Probabilidad de que el evento estudiado ocurra

q = Probabilidad de que el evento estudiado no ocurra (1-p)

e = Error de estimación máximo aceptado

Tabla 1

Valor critico Z para nivel de confianza deseado.

Nivel de confianza (NC)	Z
99.70%	3
99.00%	2.58
98.00%	2.33
96.00%	2.05
95.00%	1.96
90.00%	1.645
80.00%	1.28
50.00%	0.674

Para la presente investigación se consideró un nivel de confianza de 95%, $Z= 1.96$, con un valor de $p = 96\%$, $q = 4\%$ y $e = 5\%$ para determinar mediante la siguiente ecuación el tamaño de muestra para una población infinita de distribución normal.

$$n = \frac{(1.96)^2 * (0.96) * (0.04)}{(0.05)^2} = 59.01 \approx 60 \text{ (aproximando)}$$

Según la Tabla 2, se determinó una muestra de 60 probetas cilíndricas con adición de poliestireno expandido reciclado, las cuales se dividieron en grupos de dosificaciones del 10%, 15%, 20% y 25%. A su vez, se subdividieron en diferentes etapas de curado: 7, 14 y 28 días, con el objetivo de evaluar la resistencia a la compresión de un concreto con $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$. Además, se incluyó un conjunto de probetas denominado muestra patrón, que permitirá comparar los cambios generados por la adición de poliestireno expandido.

Tabla 2

Cantidad de probetas por diseño de mezcla.

Factor de análisis	Curado de probetas			Sub Total:
	7 días	14 días	28 días	
Patrón	4	4	4	12
10% de poliestireno expandido	4	4	4	12
15% de poliestireno expandido	4	4	4	12
20% de poliestireno expandido	4	4	4	12
25% de poliestireno expandido	4	4	4	12
			Total:	60

3.3.4. Unidad de análisis

Las unidades de análisis serán la resistencia a compresión y densidad del concreto con adiciones de poliestireno expandido reciclado.

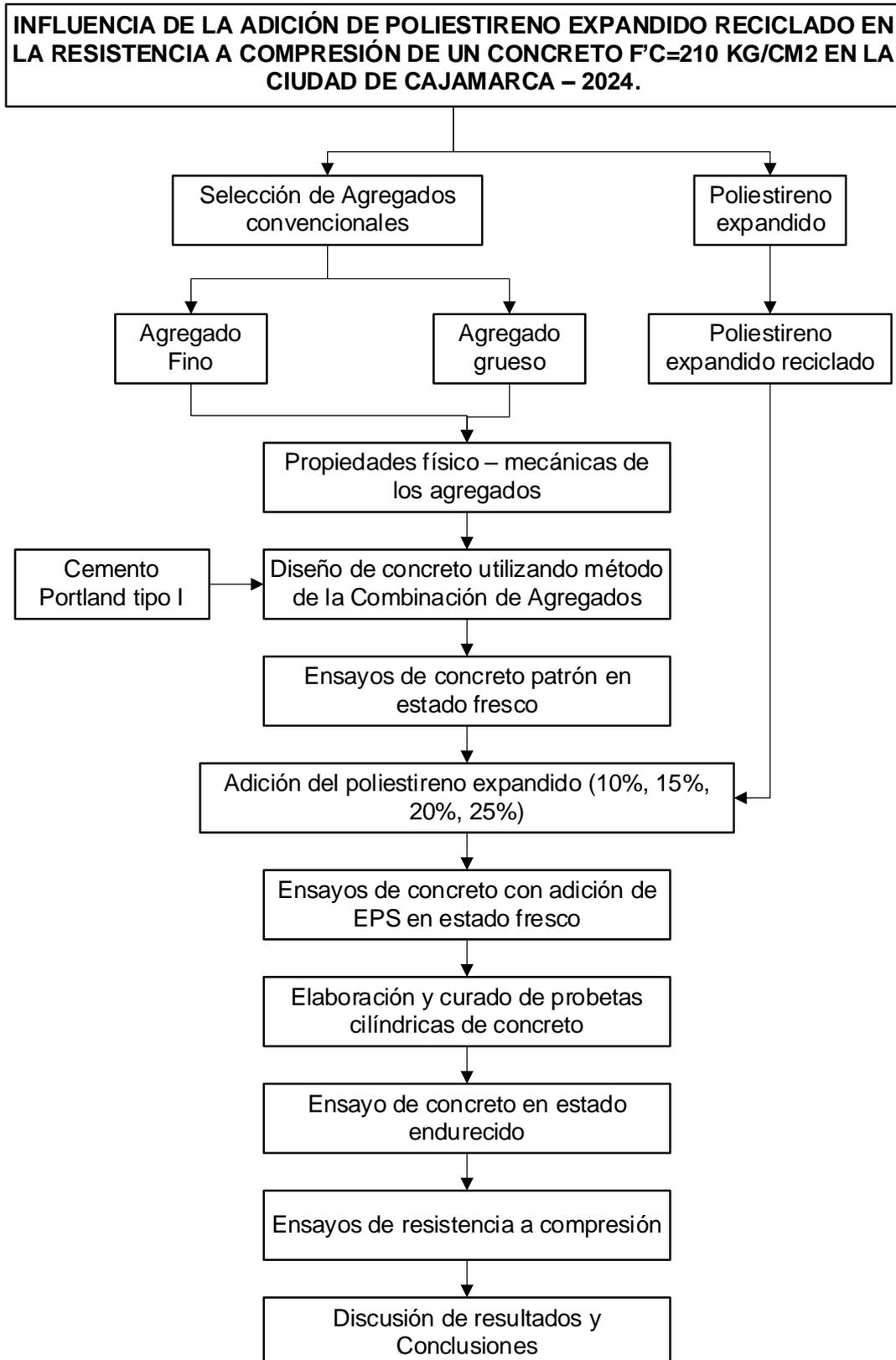
3.3.5. Unidad de observación

Conjunto de probetas de concreto elaboradas.

3.4. PROCEDIMIENTO

Figura 3

Procedimiento de la investigación



3.4.1. Agregados Convencionales

Los agregados naturales utilizados en la presente investigación fueron obtenidos de la cantera indicada en la sección 3.1.2.

3.4.1.1. Agregado Fino

Según la NTP 400.037 (2021), lo define como un agregado que se origina a partir de la desintegración natural o artificial, que pasa por el tamiz estándar de 9,5 mm (3/8 pulg) y, en su mayoría, pasa por el tamiz de 4,75 mm (No. 4), siendo retenido en el tamiz de 75 µm (No. 200).

3.4.1.2. Agregado Grueso

Según la NTP 400.037 (2021), lo define como el agregado resultante de la desintegración natural o mecánica de la roca, el cual es retenido en el tamiz de 4,75 mm (No. 4).

3.4.2. Poliestireno expandido reciclado

El poliestireno expandido (EPS) de baja densidad es un material espumado, ligero y versátil, con una densidad generalmente de 10 kg/m³, se usa para embalaje y protección de productos. Sus principales propiedades incluyen una excelente capacidad de absorción de impactos, ligereza que facilita su manipulación con una capacidad de aislamiento térmico y acústico. Además, es resistente a la humedad y puede moldearse fácilmente en diferentes formas.

El reciclaje de EPS de baja densidad consiste en recuperar este material para su reutilización, a través de un proceso de limpieza y trituración mecánica, el EPS se convierte en fragmentos de tamaño controlado, permitiendo su reintegración en nuevos productos, lo que reduce residuos y minimiza el impacto ambiental.

3.4.2.1. Proceso de reciclaje del poliestireno expandido

- **Recolección del material a reciclar:** Se recolecto láminas y planchas de EPS de baja densidad, previamente utilizadas en embalajes y protección de electrodomésticos.

- **Inspección y limpieza del EPS:** Se verifico que el EPS esté libre de cualquier tipo de contaminante. Este material estuvo limpio, seco y libre de otros contaminantes como polvo, suciedad o restos de adhesivos. Solo se utilizó EPS que cumpla con los requisitos de limpieza y secado, para garantizar un proceso de reciclaje eficiente.
- **Trituración mecánica del EPS:** El EPS se sometió a un proceso de trituración mecánica. Este método consistió en reducir el tamaño de las láminas y planchas en fragmentos más pequeños.
- **Control del tamaño de los fragmentos:** Luego del proceso de trituración, se controló que los fragmentos obtenidos tengan un tamaño adecuado. El tamaño de los fragmentos no debe ser menor de 4.75 mm (malla N°04) ni mayor a 9.50 mm (malla 3/8"). Este control es crucial para garantizar que el material reciclado sea de calidad y cumpla con los estándares requeridos.
- **Almacenamiento del material triturado:** El EPS triturado se almaceno en un lugar seco y protegido de la humedad para evitar su deterioro. Este material fue utilizado posteriormente para la elaboración de las probetas de concreto.

3.4.3. Propiedades físicas de los Agregados

3.4.3.1. Muestreo de Agregados

La obtención del agregado fino y agregado grueso, se obtuvo según la NTP 400 010 (2020) y ASTM D75. Los agregados utilizados son de la cantera indicada en la sección 3.1.2. Según el tamaño del agregado se consideró 10 kg para el agregado fino y para un TMN de 1/2", una muestra de 15 kg de agregado grueso. Las muestras de los agregados obtenidas fueron de productos acabados y no estuvieron sujetos a posterior reducción manual.

3.4.3.2. Reducción de Muestra

El procedimiento se realiza de acuerdo con la NTP 400.043 (2021) y ASTM C702, empleando el Método B - Cuarteo, con el objetivo de reducir la muestra de agregados requerida para los ensayos y minimizar así las variaciones en sus características medidas entre las muestras seleccionadas y la muestra original.

- **Procedimiento:**

Primero, se coloca la muestra sobre una superficie limpia y nivelada, evitando cualquier pérdida de la muestra o la adición accidental de materiales extraños. El material se mezcla girando la muestra tres veces. Luego, se apila en forma cónica y se presiona con una pala plana hasta alcanzar un diámetro adecuado para dividir la muestra en cuatro partes iguales. Después de realizar la división, se retiran los cuartos opuestos diagonalmente. Este proceso se repite sucesivamente hasta obtener una muestra del tamaño deseado.

3.4.3.3. Análisis Granulométrico

El ensayo se realizó conforme a la NTP 400.012 (2021) y ASTM C136. La muestra utilizada para el agregado fino, después del secado, fue de 300 g, mientras que para el agregado grueso con un tamaño máximo nominal de ½ pulgada, se consideró una muestra de 2 kg.

El tamaño máximo nominal (TMN) se determina según la NTP 400.011 (2020), esta norma define el TMN como el tamiz más pequeño que retiene entre el 5% y el 10% de la muestra de agregado grueso y el Tamaño Máximo (TM) como el tamiz más pequeño por el que pasa toda la muestra de agregado grueso.

- **Procedimiento**

Se seca la muestra a una temperatura de 110 °C ± 5 °C. Se seleccionan los tamices indicados en la norma y se apilan en orden de abertura descendente. Una vez colocado el material, se agitan los tamices manualmente durante un periodo determinado. Posteriormente, se pesa el material retenido en cada tamiz y se calcula el porcentaje retenido en cada tamiz utilizando la siguiente fórmula:

$$\%Retenido x = \frac{Wx}{W}$$

Donde:

$\%Retenido x$ = Porcentaje de muestra retenido en cada tamiz.

Wx = Peso retenido de la muestra en cada tamiz.

W = Peso total de muestra.

Por otro lado, la (NTP 400.037, 2021) establece porcentajes límites que deben cumplir con las gradaciones específicas según los usos granulométricos para el agregado fino y el agregado grueso. Además, determina el rango del módulo de finura del agregado fino.

3.4.3.4. Materiales más finos que pasa el tamiz N°200

Para este ensayo se sigue el procedimiento A – Lavado con agua, indicado en la NTP 400.018 (2020) y ASTM C117. Según el tamaño máximo nominal de los agregados, para el agregado fino se tomó una cantidad de muestra de 300 g y para el agregado grueso la cantidad de 2500 g.

- Procedimiento

Primero, seleccionamos la muestra, que es el agregado que pasa por el tamiz más pequeño del tamaño máximo nominal. La separamos y secamos a peso constante a una temperatura de $110\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$, registrando su peso seco. Luego, colocamos la muestra en un recipiente y la cubrimos con agua, agitándola hasta separar completamente las partículas más finas y suspenderlas. Repetimos este proceso hasta que el agua de lavado sea clara. Retornamos todo el material retenido en los tamices mediante un chorro de agua. Finalmente, secamos el agregado lavado a peso constante a una temperatura de $110\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ y registramos el peso seco de la muestra después del lavado.

La cantidad de muestra que pasa el tamiz N° 200 por vía húmeda, se calculó a través de la siguiente fórmula:

$$F = \frac{W1 - W2}{W1} \times 100$$

F = Porcentaje del material más fino que pasa por el tamiz (N° 200) por vía húmeda

$W1$ = Peso seco de la muestra original (g)

$W2$ = Peso seco de la muestra después del lavado (g)

3.4.3.5. Peso Unitario

El ensayo se realizó siguiendo la NTP 400.017 (2020) y ASTM C29, esta norma establece la determinación de la densidad aparente “Peso Unitario” del agregado en condición suelto y compactado.

- Procedimiento

Primero, se calibra el recipiente de acero aplicando una capa delgada de grasa en el borde para evitar fugas de agua. Luego, se llena completamente el recipiente con agua a temperatura ambiente y se cubre con una placa de vidrio, eliminando las burbujas y el exceso de agua. Se determina la masa del conjunto (agua, placa de vidrio y recipiente) y se mide la temperatura del agua para calcular su densidad. Así, se calcula el volumen V del recipiente o, alternativamente, el factor F del recipiente.

La muestra de agregado se seca a masa constante en una estufa a $110\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$. Luego, se llena el recipiente con el agregado hasta un tercio de su capacidad, nivelando con los dedos. La capa se apisona uniformemente con 25 golpes de la varilla de apisonado, repitiendo el mismo proceso para las capas restantes de agregado. Finalmente, se nivela la superficie del agregado por debajo del borde del recipiente. Se determina la masa del recipiente con su contenido y la masa del recipiente vacío.

- Cálculo

Densidad de masa:

$$M = \frac{(G - T)}{V}$$

Donde:

M = densidad de masa del agregado, kg/m^3

G = masa del agregado más el recipiente, kg

T = masa del recipiente, kg

V = volumen del recipiente, m^3

F = factor para el recipiente, m^{-3}

Volumen del recipiente

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

$$F = \frac{D}{(W - M)}$$

Donde

V = volumen del recipiente, m³

W = masa del agua, placa de vidrio, y recipiente, kg

M = masa de la placa de vidrio y recipiente, kg

D = densidad del agua para la temperatura medida, kg/m³

F = factor para el recipiente, m⁻³

3.4.3.6. Peso Específico y Absorción del agregado fino

El procedimiento de los ensayos para el agregado fino sigue los pasos de la NTP 400.022 (2021) o ASTM C128.

- Procedimiento

La muestra del agregado fino se seca en una estufa a una temperatura de 110 °C ± 5 °C, luego se sumerge en agua durante 24 h ± 4 h para saturar los poros. Después, se elimina el exceso de agua sin perder los finos, se seca la humedad superficial de las partículas y se determina su masa. Finalmente, la muestra se coloca en un recipiente graduado y se mide su volumen utilizando el método gravimétrico o volumétrico.

El procedimiento utilizado es el gravimétrico, el cual consiste en introducir 500 g ± 10 g de agregado fino en condición SSS (saturado y superficialmente seco) en un picnómetro, junto con agua. Se agita manualmente hasta eliminar las burbujas de aire y llevar el nivel de agua en el picnómetro hasta su capacidad de calibración.

Finalmente, la muestra se retira del picnómetro y se seca en horno, determinándose nuevamente la masa. Usando los valores de masa obtenidos y las fórmulas proporcionadas en este método de ensayo, es posible calcular la densidad relativa (gravedad específica) y la absorción.

- Calculo

Densidad Relativa (Gravedad Específica) (SH):

$$\frac{A}{B + S - C}$$

Densidad Relativa (Gravedad Específica) (SSS):

$$\frac{S}{B + S - C}$$

Densidad Relativa Aparente (Gravedad Específica Aparente):

$$\frac{A}{B + A - C}$$

Absorción %

$$100 \left(\frac{S - A}{A} \right)$$

Donde:

A = masa secada al horno de la muestra, g

B = masa del picnómetro con agua hasta marca de calibración, g

C = masa con muestra del picnómetro y agua hasta la marca de calibración, g

S = masa saturada superficialmente seca de la muestra, g

3.4.3.7. Peso específico y Absorción del agregado grueso

Para el agregado grueso se utilizó el procedimiento indicado en la NTP 400.021 (2020) o ASTM C127. La densidad relativa (gravedad específica) es la relación entre la masa de un agregado y la masa de un volumen de agua igual al volumen de las partículas de agregado, también conocido como el volumen absoluto del agregado.

- Procedimiento

La muestra utilizada debe rechazar todo el material que pasa por el tamiz N° 4 y ser lavada cuidadosamente para eliminar los polvos. Para un tamaño máximo nominal de ½", se considera un mínimo de 2 kg de agregado grueso.

La muestra de agregado se seca en horno hasta alcanzar peso constante a una temperatura de 110 °C ± 5 °C, luego se sumerge en agua durante 24 h ± 4 h para llenar esencialmente los poros. A continuación, se retira la muestra del agua, se seca el agua superficial de las partículas y se determina la masa. Posteriormente, el volumen de la muestra se determina mediante el método de desplazamiento de agua. Finalmente, la muestra se seca nuevamente en horno y se determina la masa. Utilizando los valores de masa obtenidos y las

fórmulas especificadas en este método de ensayo, es posible calcular la densidad relativa (gravedad específica) y la absorción.

- **Calculo**

Densidad Relativa (Gravedad Específica):

$$\frac{A}{B - C}$$

Densidad Relativa (Gravedad Específica) (SSS):

$$\frac{B}{B - C}$$

Densidad Relativa Aparente (Gravedad Específica Aparente):

$$\frac{A}{A - C}$$

Absorción %

$$100 \left(\frac{B - A}{A} \right)$$

Donde:

A = masa de la muestra secada al horno, g

B = masa de muestra saturada superficialmente seca, g

C = masa aparente de muestra de ensayo saturada en agua, g

3.4.3.8. Contenido de Humedad

Se siguió el procedimiento descrito en la NTP 339.185 (2021) o ASTM C566. Este ensayo nos indica cómo determinar el porcentaje de humedad evaporable en una muestra de agregado mediante secado. El proceso incluye tanto la humedad superficial como la contenida en los poros del agregado. La muestra utilizada para un tamaño máximo nominal de 1/2" es 2 kg de agregado grueso y 0.5 kg de agregado fino.

- **Procedimiento**

Se mide la masa de la muestra en su estado de humedad natural y luego se coloca en un horno con temperatura controlada. Después de que la muestra se haya secado y enfriado, se calcula su masa seca.

- **Calculo**

Contenido de humedad total evaporable:

$$p = \frac{100 (W - D)}{D}$$

Donde:

p = contenido total de humedad vaporable de la muestra, en porcentaje.

W = masa en gramos de la muestra húmeda original.

D = masa en gramos de la muestra seca.

3.4.3.9 Resistencia a la Abrasión

Se encuentra descrito en la norma NTP 400.019 (2020) y ASTM C131, la cual establece el ensayo para agregados gruesos para determinar su resistencia a la degradación mediante la máquina de Los Ángeles.

- **Procedimiento**

La muestra reducida se lava previamente y se seca en horno a peso constante, a una temperatura de 110 ± 5 °C. Cada fracción individual se separa y luego se recombina según la gradación tipo B de la norma. El tamaño total de la muestra del agregado grueso será de 5 kg.

Este método de ensayo mide el desgaste del agregado grueso con gradaciones normalizadas, resultante de una combinación de acciones que incluyen abrasión, impacto y trituración, en un tambor de acero rotatorio que contiene un número especificado de esferas de acero (12 esferas) dependiendo de la gradación de la muestra de ensayo (gradación tipo B). Al girar el tambor, la muestra y las esferas de acero son levantadas por una pestaña de acero y arrojadas al lado opuesto del tambor, creando un efecto de trituración por impacto. Luego, el contenido rueda dentro del tambor, generando una acción abrasiva y de molienda, hasta que la pestaña de acero vuelve a recoger la muestra y las esferas de acero. Este ciclo se repite mientras el tambor gira a una velocidad de 30 a 33 rpm. Después de 500 revoluciones, el contenido se retira del tambor y la porción del agregado se tamiza con un tamiz normalizado de 1.70 mm (N° 12). El material más grueso se lava y se seca en horno a

110 °C ± 5 °C, y finalmente se mide su masa para determinar su desgaste como porcentaje de pérdida.

- **Calculo**

Porcentaje de perdida (abrasión)

$$\text{porcentaje de perdida} = \left(\frac{C - Y}{C} \right) \times 100$$

Donde:

C = Masa original de la muestra de ensayo, g

Y = masa final de la muestra de ensayo, g

3.4.4. Diseño de mezcla

El concreto será diseñado para una resistencia de $f'c = 210 \text{ Kg/cm}^2$, se utilizó agregados de la cantera “Aguilar” del rio Chonta, se utilizó cemento Portland Pacasmayo Tipo I, y agua potable del suministro de la Universidad Nacional de Cajamarca.

El método utilizado para el diseño de mezclas para la presente investigación es el Módulo de finura de la combinación de los Agregados y las tablas ACI - Comité 211. Además, el diseño se realizó por resistencia. Rivva López (2014) indica una ecuación que establece una relación entre el módulo de fineza de los agregados finos y gruesos y su contribución al volumen absoluto total del agregado. Esta ecuación permite calcular el valor del módulo de fineza de la combinación de agregados de la siguiente manera:

- **Calculo:**

$$m = r_f \times m_f + r_g \times m_g$$

Donde:

m = Modulo de fineza de la combinación de agregados.

m_f = Módulo de fineza de agregado fino.

m_g = Módulo de fineza de agregado grueso.

r_f = Porcentaje de agregado fino respecto al volumen absoluto total del agregado.

r_g = Porcentaje de agregado grueso respecto al volumen absoluto total del agregado.

3.4.4.1 Procedimiento de diseño de mezcla

1. Se estableció la resistencia promedio requerida para asegurar que se cumpla con la resistencia mínima especificada.
2. Se seleccionó el tamaño máximo nominal del agregado grueso, considerando las características de los elementos estructurales y el método de colocación del concreto.
3. Se eligió la consistencia de la mezcla de concreto basada en su asentamiento, teniendo en cuenta factores como la trabajabilidad, facilidad de colocación y compactación.
4. Se determinó el volumen de agua necesario por unidad de volumen de concreto.
5. Se estableció el porcentaje de aire atrapado o el aire total.
6. Se seleccionó la relación agua-cemento necesaria para lograr la resistencia especificada.
7. Se escogió la cantidad de cemento por unidad cúbica de concreto.
8. Se calcularon los volúmenes absolutos de la pasta (cemento, agua de diseño y aire).
9. Se determinó el volumen absoluto total de los agregados.
10. Se calculó el porcentaje teórico de vacíos.
11. Se estableció el módulo de fineza de la combinación de agregados (mc).
12. Se calculó el porcentaje de agregado fino.
13. Se determinó el volumen absoluto de los agregados.
14. Se calcularon los pesos secos de los agregados fino y grueso.
15. Se ajustaron los valores considerando la humedad del agregado.
16. Se estableció la proporción en peso en obra.
17. Se estableció la proporción en volumen en obra.
18. Se determinaron las proporciones por tanda.

3.4.4.2. Ajuste del Diseño de Mezclas

El ajuste de diseño de un concreto $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ se realizó teniendo en cuenta las características obtenidas del laboratorio de materiales.

Para Rivva López (2014) generalmente en campo los agregados están en condiciones de humedad y su peso seco deberá incrementarse en el porcentaje de agua que contiene, tanto la absorbida como la superficial. En los ajustes de las proporciones de la mezcla por condiciones de humedad de agregado se presentan tres casos: que ambos agregados sumen agua a la mezcla, que uno de los agregados aporte agua y el otro lo quite y que ambos agregados quiten agua a la mezcla.

3.4.5. Adición del poliestireno expandido reciclado

La presente investigación utilizó porcentajes de adición de 10%, 15%, 20% y 25%, estos fueron considerados de acuerdo a los antecedentes de investigaciones ya realizadas anteriormente, de las cuales por criterio personal se obtuvieron las dosificaciones más óptimas para verificar la variación de la resistencia a la compresión con respecto a un concreto patrón.

- Procedimiento

1. Se consideró los volúmenes absolutos por m³ del diseño patrón (datos del diseño de mezclas).
2. Con el volumen del agregado grueso se procedió con la adición de poliestireno expandido reciclado en los diferentes porcentajes establecidos (10%, 15%, 20% y 25%).
3. Se corrigió los valores por humedad de los agregados.
4. Se calculó la proporción en peso de los materiales por tanda de bolsa de cemento.
5. Se calculó la proporción en volumen.
6. Se calculó la proporción por tanda de las probetas elaboradas.

3.4.6. Elaboración y curado de especímenes de concreto

La elaboración y curado de especímenes de concreto se realizó acorde a la NTP 339.183 (2021)

Antes de mezclar el concreto, los agregados se llevaron a temperatura ambiente, manteniéndose entre 20 °C y 30 °C, asegurando una condición de humedad uniforme. El

concreto se preparó mediante mezclado mecánico, colocando primero el agregado grueso, luego una parte del agua de mezcla, y finalmente el agregado fino y el cemento, durante 3 minutos, seguido de 3 minutos de reposo y 2 minutos finales de mezclado.

Para la elaboración de especímenes, el concreto se colocó en los moldes con un cucharón, evitando la segregación. Se utilizó una técnica de tres capas de igual profundidad. La consolidación se realizó mediante el método de varillado, aplicando 25 golpes uniformemente en cada capa con una varilla. Después del varillado, se golpearon suavemente los lados del molde de 10 a 15 veces con un martillo de goma para eliminar el aire atrapado.

Para el acabado, se enrasó la superficie con la varilla de compactación, asegurando que quedara plana y nivelada con el borde del molde. Durante el curado inicial, se utilizó una lámina de plástico impermeable para evitar la evaporación del agua del concreto fresco.

Los especímenes se desmoldaron 24 horas después del vaciado. El curado se realizó en tanques de almacenamiento de agua desde el momento del desmoldado hasta el ensayo.

3.4.7. Determinación de Propiedades de concreto en Estado Fresco

3.4.7.1. Asentamiento del concreto fresco

Siguiendo el procedimiento de la NTP 339.035 (2022), la muestra de concreto fresco se coloca en un molde húmedo con forma de cono truncado, situado sobre una superficie plana, rígida y nivelada. Luego, se compacta mediante 25 golpes uniformes con una varilla en tres capas. Al finalizar, el molde se retira verticalmente, permitiendo que el concreto se asiente. Se mide la distancia vertical entre la posición inicial y la posición final del concreto.

3.4.7.2. Peso unitario del concreto fresco

Según la NTP 339.046 (2019), se utilizó en método de apisonado, una vez determinado la capacidad del recipiente de medición y humedecerla, colocamos el concreto en el recipiente en tres capas de aproximadamente igual volumen, apisonamos cada capa con 25 golpes con la barra compactadora distribuyendo los golpes uniformemente sobre la sección transversal del recipiente. Después de que cada capa sea apisonada se golpea con un mazo los lados del recipiente de 10 a 15 veces para eliminar las burbujas de aire atrapado.

Una vez completada la consolidación, se alisa la superficie del concreto en el borde superior del recipiente, asegurando que quede nivelado y completamente lleno. Finalmente, se limpia cualquier exceso o material adherido a las paredes exteriores del recipiente para proceder a determinar la masa del concreto.

- **Calculo:**

$$D = \frac{M_c - M_m}{V_m}$$

Donde:

D = Densidad (peso unitario)

M_m = masa del recipiente

M_c = masa del recipiente de medida lleno de concreto

V_m = volumen de la medida

3.4.7.3. Temperatura del concreto fresco

Para el ensayo se utiliza la NTP 339.184 (2021), El procedimiento indica que primero se debe humedecer el recipiente donde se colocará la muestra de concreto, este recipiente debe ser lo suficientemente amplio al menos 75 mm (3 pulg.) para proporcionar concreto en todas las direcciones alrededor del dispositivo. Luego, se introduce al concreto el dispositivo de medición de temperatura, asegurándose de que esté sumergido al menos 3 pulgadas. Se eliminan los vacíos dejados por la colocación del dispositivo presionando ligeramente el concreto. Se deja el dispositivo sumergido durante un período de 2 a 5 minutos. Finalmente, se toma la lectura de temperatura con el dispositivo aún sumergido en el concreto.

3.4.8. Determinación de Propiedades de concreto en Estado endurecido

3.4.7.1. Peso Unitario del concreto endurecido

Para realizar los cálculos se midió tres veces el diámetro por cada cara en forma diagonal de los especímenes de concreto, luego se midió tres veces la altura para obtener un promedio de estas medidas, se pesó los especímenes antes de la prueba de resistencia a compresión.

Calculo:

$$PU^{\circ}Ce = \frac{W}{\frac{\pi D^2}{4} * H} * 1000$$

Donde:

$PU^{\circ}Ce$ = Peso unitario del concreto endurecido (Kg/m3).

W = Peso del espécimen de concreto (g)

D = Diámetro promedio del espécimen (cm)

H = Altura promedio del espécimen (cm)

3.4.7.2. Resistencia a Compresión del Concreto

El procedimiento se realiza según la NTP 339.034 (2021) y ASTM C39, consiste en aplicar una carga de compresión axial a las muestras de concreto a una velocidad dentro de un rango especificado hasta que se produzca la falla.

Esta se calcula de la siguiente forma:

$$f'c = \frac{P}{\pi D^2} * 1000$$

Donde:

$f'c$ = Resistencia del espécimen de concreto (Kg/cm2).

P = Carga máxima aplicada hasta la rotura (Tn).

D = Diámetro promedio medido (cm).

3.5. TRATAMIENTO, ANÁLISIS DE DATOS Y PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

3.5.1. Tratamiento y análisis de datos

El tratamiento y análisis de datos se llevó a cabo según los resultados experimentales obtenidos en el laboratorio. Estos resultados fueron interpretados mediante fichas, gráficos y tablas de datos, utilizando los programas Word y Excel y aplicando los diversos métodos de cálculo para cada ensayo.

Para obtener los datos de las propiedades de los agregados, se consideró la media aritmética del número de pruebas realizadas por cada ensayo. Con base en estos datos, se determinaron las proporciones de los componentes del concreto mediante el diseño de mezclas.

3.5.2. Presentación de resultados

3.5.2.1. Resultados de las propiedades físicas de los agregados

La tabla 3 presenta los resultados de las propiedades físicas tanto del agregado fino como del agregado grueso, los cuales son el promedio de los ensayos realizados para cada propiedad (Anexo I). Estos valores fueron utilizados para el diseño de la mezcla de la presente investigación.

Tabla 3

Resumen de las propiedades de los agregados

Descripción	Agregado Fino	Agregado grueso	Unidades
Tamaño máximo nominal		1/2	"
Módulo de fineza	2.98	6.68	
Peso específico de masa	2.54	2.52	g/m ³
Peso específico de masa SSS	2.60	2.56	g/m ³
Peso específico aparente	2.69	2.62	g/m ³
Peso unitario suelto	1487	1454	kg/m ³
Peso unitario compactado	1719	1583	kg/m ³
Absorción	2.18	1.38	%
Contenido de humedad	6.70	2.11	%
Abrasión		29.68	%
Partículas que pasan malla N°200	2.72	0.45	%
Porcentaje de vacíos			%

3.5.2.2. Resultados de los diseños de mezcla.

En la tabla 4 y 5 se presenta las dosificaciones de las mezclas de concreto

Tabla 4

Volúmenes absolutos de los materiales con adición de poliestireno expandido reciclado.

Descripción	Materiales					
	Cemento Portland Tipo I (m3)	Agua de diseño (m3)	Agregado Fino Húmedo (m3)	Agregado Grueso Húmedo (m3)	Aire (m3)	Poliestireno expandido (m3)
Patrón	0.106786	0.216000	0.366722	0.285492	0.025000	0.000000
10% de poliestireno expandido	0.106786	0.216000	0.366722	0.285492	0.025000	0.028549
15% de poliestireno expandido	0.106786	0.216000	0.366722	0.285492	0.025000	0.042824
20% de poliestireno expandido	0.106786	0.216000	0.366722	0.285492	0.025000	0.057098
25% de poliestireno expandido	0.106786	0.216000	0.366722	0.285492	0.025000	0.071373

Tabla 5

Pesos de los materiales corregidos por humedad con adición de poliestireno expandido reciclado.

Descripción	Materiales				
	Cemento Portland Tipo I (kg)	Agua de diseño (lt)	Agregado Fino Húmedo (kg)	Agregado Grueso Húmedo (kg)	Poliestireno expandido (kg)
Patrón	332.10	168.66	995.53	735.48	0
10% de poliestireno expandido	332.10	168.66	995.53	735.48	0.29
15% de poliestireno expandido	332.10	168.66	995.53	735.48	0.43
20% de poliestireno expandido	332.10	168.66	995.53	735.48	0.57
25% de poliestireno expandido	332.10	168.66	995.53	735.48	0.71

3.5.2.3. Resultados de las propiedades del concreto fresco

a) Asentamiento del concreto fresco

Tabla 6

Resultados de los asentamientos de las tandas de concreto con adición de EPS reciclado.

Descripción	Tanda	Asentamiento (pulg)	Asentamiento promedio (cm)	Variación (%)
Patrón	T1	3.25	8.57	
	T2	3.50		
10% de poliestireno expandido	T1	3.00	7.94	-8.00%
	T2	3.25		
15% de poliestireno expandido	T1	3.50	8.57	0.00%
	T2	3.25		
20% de poliestireno expandido	T1	3.00	8.26	-3.85%
	T2	3.50		
25% de poliestireno expandido	T1	3.50	8.57	0.00%
	T2	3.25		

b) Peso unitario del concreto fresco

Tabla 7

Resultados de los pesos unitarios del concreto en estado fresco con adición de EPS reciclado.

Descripción	Muestra	Peso unitario (kg/m3)	Peso unitario promedio (kg/m3)	Variación (%)
Patrón	M1	2366.93	2354.69	
	M2	2353.60		
	M3	2343.55		
10% de poliestireno expandido	M5	2294.22	2296.00	-2.56%
	M6	2298.31		
	M7	2295.48		
15% de poliestireno expandido	M5	2261.88	2267.23	-3.86%
	M6	2272.21		
	M7	2267.61		
20% de poliestireno expandido	M5	2232.23	2242.04	-5.02%
	M6	2250.50		
	M7	2243.38		
25% de poliestireno expandido	M5	2219.30	2217.82	-6.17%
	M6	2216.29		
	M7	2217.85		

Figura 4

Relación de los pesos unitarios promedio del concreto fresco con adiciones de EPS reciclado.

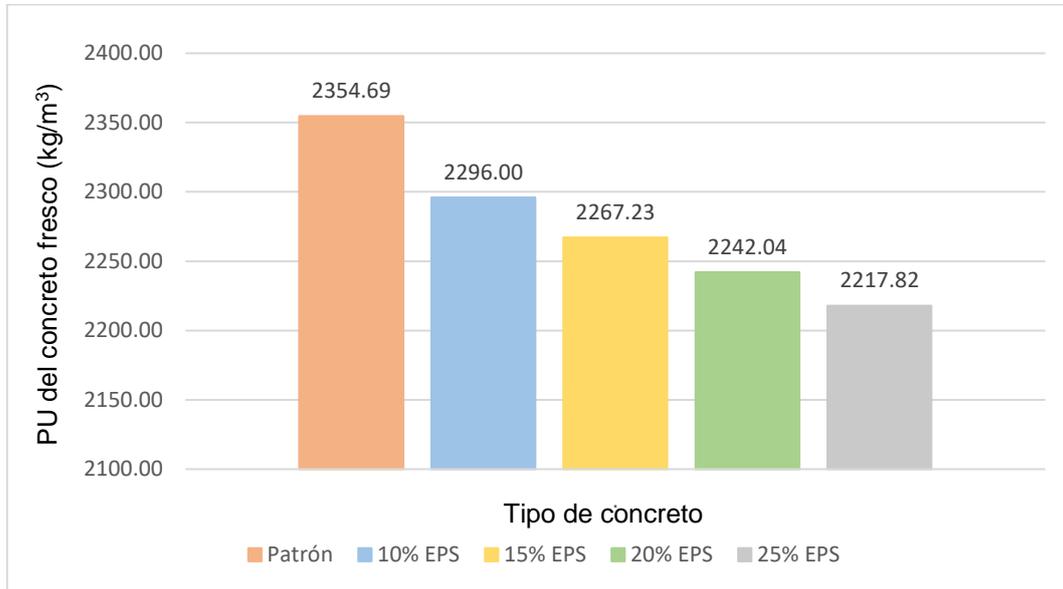
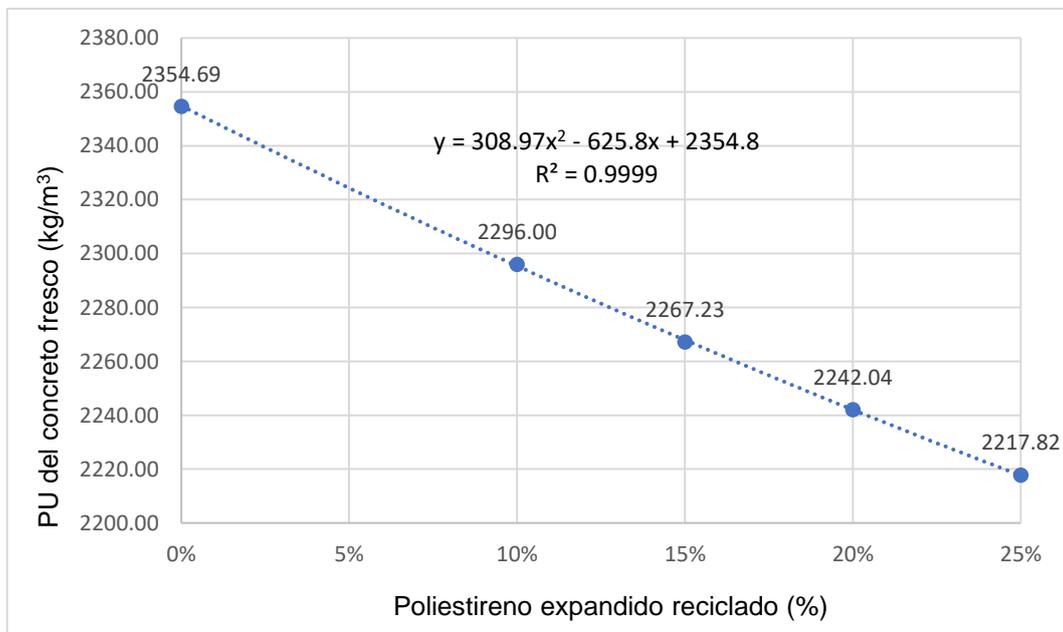


Figura 5

Ecuación polinómica de los pesos unitarios promedio del concreto fresco con adición de EPS reciclado.



c) Temperatura del Concreto fresco

Tabla 8

Resultados de las temperaturas medidas del concreto en estado fresco con adición de EPS reciclado.

Descripción	Muestra	Temperatura (°C)	Temperatura promedio (°C)	Variación (%)
Patrón	M1	19.8	19.73	
	M2	19.8		
	M3	19.6		
10% de poliestireno expandido	M5	19.6	19.57	-0.85%
	M6	19.7		
	M7	19.4		
15% de poliestireno expandido	M5	19.8	19.70	-0.17%
	M6	19.7		
	M7	19.6		
20% de poliestireno expandido	M5	19.7	19.65	-0.42%
	M6	19.6		
	M7	19.7		
25% de poliestireno expandido	M5	19.6	19.60	-0.68%
	M6	19.5		
	M7	19.7		

3.5.2.4. Resultados de las propiedades del concreto endurecido

a) Peso Unitario del concreto endurecido

Tabla 9

Resultados de los pesos unitarios del concreto en estado endurecido con adiciones de EPS reciclado.

Descripción	Edad (Días)	Muestra	Peso Unitario (kg/m ³)	Peso Unitario promedio (kg/m ³)	Variación
Patrón	28	M9	2338.353	2338.13	
	28	M10	2327.805		
	28	M11	2359.765		
	28	M12	2326.582		
10% de poliestireno expandido	28	M9	2281.071	2288.02	-2.19%
	28	M10	2313.399		
	28	M11	2278.813		
	28	M12	2278.795		

15% de poliestireno expandido	28	M9	2232.378	2265.07	-3.23%
	28	M10	2277.635		
	28	M11	2277.739		
	28	M12	2272.548		
20% de poliestireno expandido	28	M9	2255.148	2237.62	-4.49%
	28	M10	2231.521		
	28	M11	2235.304		
	28	M12	2228.505		
25% de poliestireno expandido	28	M9	2187.360	2212.11	-5.70%
	28	M10	2221.991		
	28	M11	2227.442		
	28	M12	2211.660		

Figura 6

Relación de los pesos unitarios promedio del concreto endurecido *con adición de EPS reciclado*.

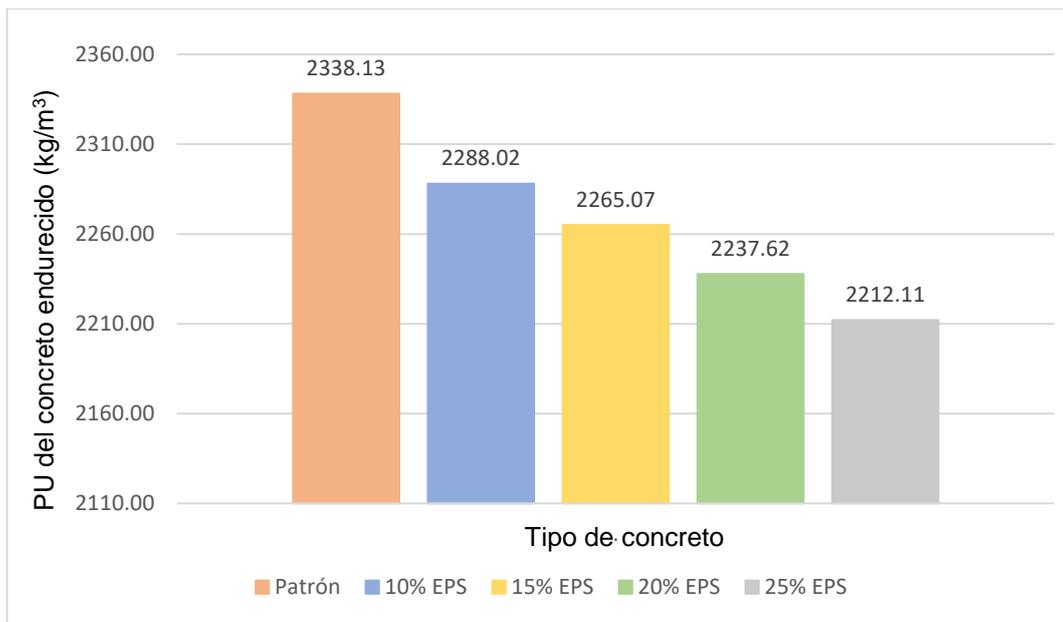
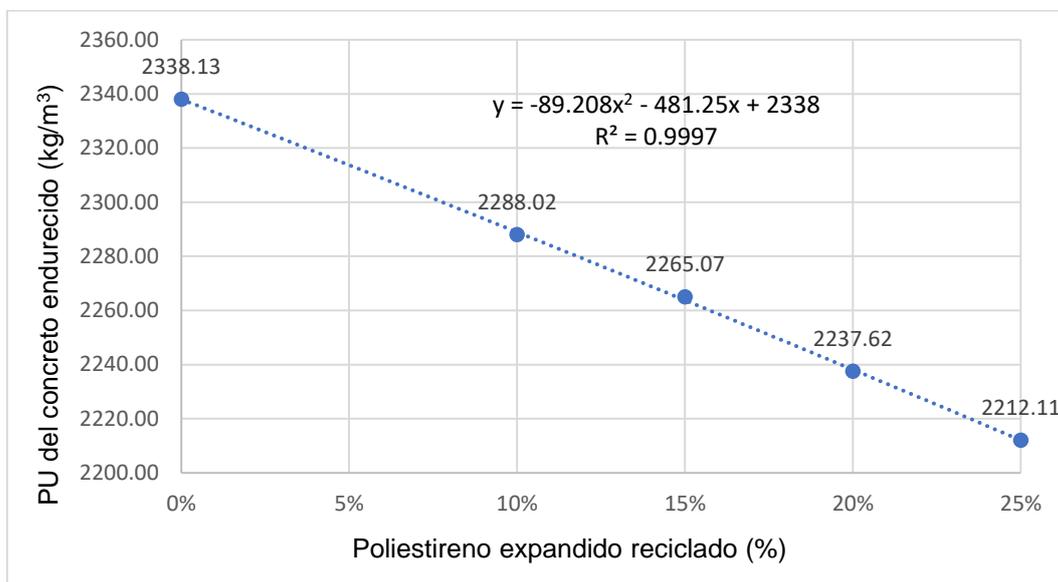


Figura 7

Ecuación polinómica de los pesos unitarios promedio del concreto endurecido con adición de EPS reciclado.



b) Resistencia a Compresión del Concreto

Tabla 10

Resistencia a compresión promedio del concreto con adición de EPS reciclado.

Descripción	Resistencia a compresión uniaxial f'c (Kg/cm2)					
	Edad					
	7 días		14 días		28 días	
	f'c promedio (kg/cm2)	Variación f'c	f'c promedio (kg/cm2)	Variación f'c	f'c promedio (kg/cm2)	Variación f'c
Patrón	220.71	0.00%	250.41	0.00%	283.59	0.00%
10% de poliestireno expandido	172.90	-27.65%	218.81	-14.45%	244.36	-16.05%
15% de poliestireno expandido	160.34	-37.65%	204.86	-22.24%	228.20	-24.27%
20% de poliestireno expandido	152.46	-44.77%	195.20	-28.29%	219.35	-29.28%
25% de poliestireno expandido	138.30	-59.59%	181.45	-38.01%	195.55	-45.02%

Figura 8

Relación de las resistencias a la compresión promedio y las edades de ensayo del concreto con adición de EPS reciclado.

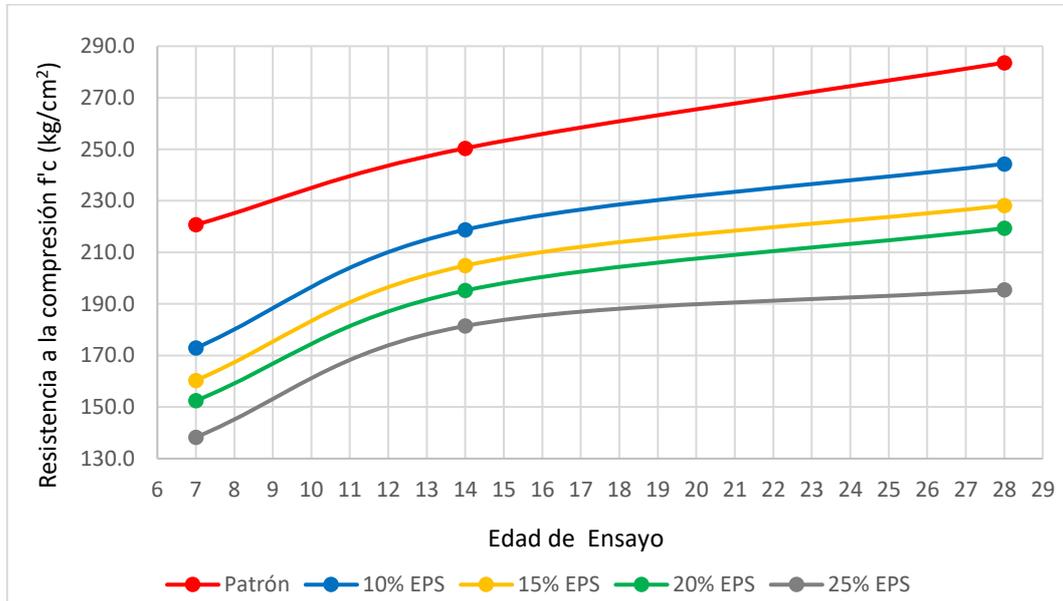


Figura 9

Resultados de las resistencias a la compresión promedio del concreto con adición de EPS reciclado.

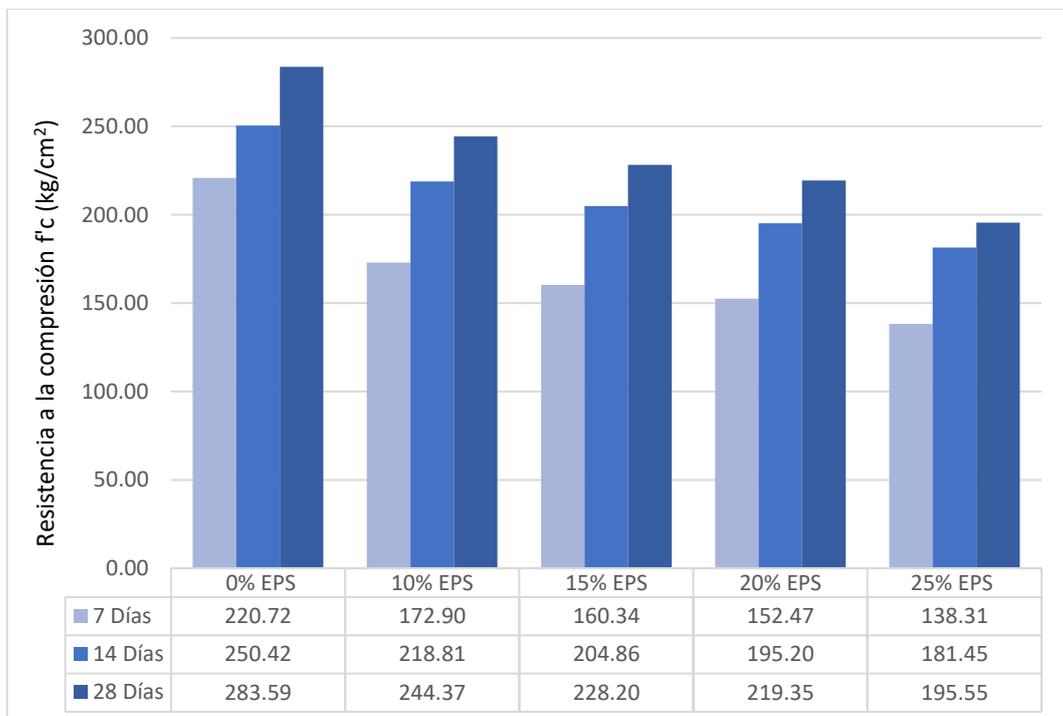
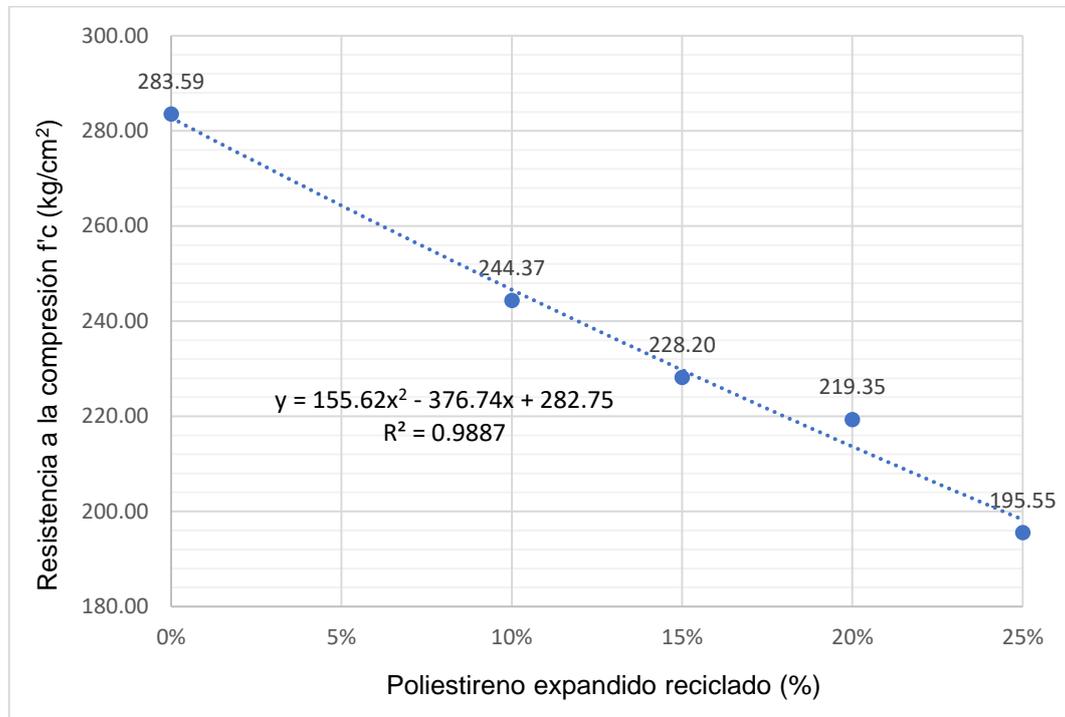


Figura 10

Ecuación polinómica de las resistencias a la compresión del concreto con adición de EPS reciclado a los 28 días.



CAPÍTULO IV. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

4.1. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS DE LAS PROPIEDADES DE LOS AGREGADOS

4.1.1. Análisis Granulométrico

Según los resultados de análisis granulométrico de los agregados finos y grueso contrastados en la Tabla 3, se puede observar que se cumple los parámetros límite de los usos granulométricos de la NTP 400.037 (2021), para el módulo de finura (MF) del agregado fino se obtuvo un valor de 2.98, cumpliendo con los rangos de entre 2.3 y 3.1 establecidos en la norma, para el agregado grueso se obtuvo un módulo de finura (MF) de 6.68 y está dentro del rango del huso 67 con un tamaño máximo nominal de 1/2”.

4.1.2. Materiales más finos que pasa el tamiz N°200

Los valores obtenidos de los ensayos de materiales más finos que pasan el tamiz N°200, para el agregado fino se obtuvo un valor de 2.72% y para el agregado grueso un 0.45%, estos resultados cumplen con la NTP 400.037 (2021) que establece límites máximos de 5% para el agregado fino y 1% para el agregado grueso.

4.1.3. Peso Unitario

Para el peso unitario suelto se obtuvo 1487 kg/m³ para el agregado fino y 1454 kg/m³ para el agregado grueso, en el peso unitario compactado se obtuvo 1719 kg/m³ para el agregado fino y 1583 kg/m³ para el agregado grueso, las partículas del agregado fino son más densas como consecuencia permite que en la mezcla de concreto tengan más probabilidad de acomodarse. Los resultados cumplen con la normativa que especifica que la densidad de masa del agregado grueso y compactado deben estar en un rango de 1200 kg/m³ a 1850 kg/m³.

4.1.4. Peso Específico y Absorción

Los resultados de peso específico y absorción están contrastados en la Tabla 3, dichos valores están en el rango de 2.4 g/cm³ y 2.9 g/cm³ establecidos en la norma, por otro lado, los valores de la absorción contrastan que el agregado fino tiene un mayor porcentaje de

absorción que el agregado grueso, estos influyen al hacer el ajuste de agua del diseño de la mezcla de concreto.

4.1.5. Contenido de Humedad

Los resultados de contenido de humedad dan valores de 6.70% para el agregado fino y 2.11% para el agregado grueso, estos se encuentran dentro de los límites de la normativa, la cual estipula que un máximo de 8% o más para el agregado fino y hasta 4% para el agregado grueso. Estos aportaran mayor agua al diseño de la mezcla de concreto.

4.1.6. Resistencia a la Abrasión

Para la resistencia al desgaste del agregado grueso por abrasión se obtuvo un valor de 29.68%. La norma NTP 400.037 (2021) estipula un máximo de 50%, de esta manera se afirma que el agregado es ideal para el concreto.

4.2. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DEL DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO

La tabla 4 y 5 muestran las cantidades de materiales para el diseño de concreto patrón y para las adicionadas con poliestireno expandido reciclado en los porcentajes de 10%, 15%, 20% y 25%, las cantidades de los componentes establecidos se diseñaron tomando en cuenta las propiedades de los agregados mencionados anteriormente.

4.3. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LAS PROPIEDADES DEL CONCRETO EN ESTADO FRESCO

4.3.1. Asentamiento del concreto en estado fresco

Los datos obtenidos por cada tanda realizada del asentamiento o slump del concreto están en la Tabla 6, estas cumplen con las características deseables según el diseño de mezcla, estos están dentro del rango de 3" y 4", es decir la mezcla es trabajable y presenta una consistencia plástica según la norma NTP 339.035 (2022).

4.3.2. Peso unitario del concreto en estado fresco (densidad)

Tal como se detalla en la Tabla 7 y en la Figura 4 y 5, los resultados del peso unitario del concreto en estado fresco muestran que, a mayor porcentaje de adición de poliestireno expandido reciclado, el peso unitario disminuye ligeramente. En el caso de la adición con un

25% de EPS, se observa una reducción del 6.17% respecto al concreto patrón, alcanzando una densidad promedio de 2217.82 kg/m³. Esto indica que en la mayor dosificación de poliestireno expandido en el concreto se encuentra dentro de un rango de peso normal, el cual oscila entre los 2200 kg/m³ y 2400 kg/m³ según la norma NTP 339.046 (2019).

4.3.3. Temperatura del concreto en estado fresco

Los registros de temperatura del concreto se presentan en la Tabla 8, estos están dentro del rango establecido por la Norma E.060 (2020), la cual indica que la temperatura no debe ser menor que 10°C y mayor que 32°C.

4.4. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LAS PROPIEDADES DEL CONCRETO EN ESTADO ENDURECIDO

4.4.1. Peso Unitario del concreto en estado endurecido (densidad)

Según la Tabla 9 y la figura 6 y 7, muestran los resultados del peso unitario del concreto en estado endurecido, estos valores al igual que el peso unitario del concreto en estado fresco disminuyen a manera que se va adicionando mayor porcentaje de poliestireno expandido, también se puede observar que en el estado endurecido los resultados del peso unitario son menores que del estado fresco. Todo esto se debe a las características del poliestireno expandido que al incorporarlos origina nuevos espacios de aire en la mezcla por la baja densidad que presenta el material y porque las probetas tienen menor cantidad de agua una vez secadas.

4.4.2. Resistencia a Compresión del Concreto

En la Tabla 10 se presentan los resultados de los ensayos de resistencia a compresión del concreto a los 7, 14 y 28 días. Se observa que, para una edad de 28 días, con una adición del 10% de EPS, la resistencia a la compresión disminuye en un 16.05%. Al adicionar 15% de EPS, la reducción alcanza el 24.27%, y con un 20% de adición, la caída es del 29.28%. Finalmente, con una adición del 25%, la resistencia disminuye hasta un 45.02% en comparación con la resistencia obtenida en el diseño patrón. Esto indica que, a mayor porcentaje de adición de poliestireno expandido, mayor es la disminución en la resistencia a

compresión. En la figura 8, se muestra las resistencias a compresión promedio del concreto patrón y las adicionadas con EPS en las 3 edades analizadas, se puede observar que los diseños con adición de EPS obtienen altas resistencias a los 14 días, pero luego el incremento de la resistencia ya es más constante. En la figura 9 en los resultados de resistencia a compresión promedio se puede observar que los concretos con adiciones de 10%, 15% y 20% aún mantienen la resistencia mayor a 210 Kg/cm², por otro lado, el concreto con adición de 25% no llega a la resistencia mínima requerida en la presente investigación.

4.5. CONTRASTE DE HIPÓTESIS

Se planteó la hipótesis de que la adición de poliestireno expandido reciclado provocaría una reducción del 5% en la resistencia a la compresión y del 3% en la densidad, en comparación con un concreto patrón de $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ en la ciudad de Cajamarca en 2024. Sin embargo, estos valores no coinciden con los resultados obtenidos en la investigación, ya que se observó los siguientes resultados:

- Para una adición del 10% de EPS reciclado se presenta una disminución del 16.05% en la resistencia a compresión y del 2.19% en la densidad con respecto al concreto patrón.
- Para una adición del 15% de EPS reciclado se presenta una disminución del 24.27% en la resistencia a compresión y del 3.23% en la densidad con respecto al concreto patrón.
- Para una adición del 20% de EPS reciclado se presenta una disminución del 29.28% en la resistencia a compresión y del 4.49% en la densidad con respecto al concreto patrón.
- Para una adición del 25% de EPS reciclado se presenta una disminución del 45.02% en la resistencia a compresión y del 5.70% en la densidad con respecto al concreto patrón.

CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

Con el desarrollo de la presente tesis se llegaron a las siguientes conclusiones:

- El poliestireno expandido reciclado provoca un decremento promedio del 9.25% en la resistencia a compresión y del 1.15% en la densidad promedio por cada 5% de porcentaje de adición, en comparación con un concreto patrón de $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ en la ciudad de Cajamarca – 2024.
- La adición del 10% de poliestireno expandido reciclado influye en una disminución del 16.05% en la resistencia a compresión y del 2.19% en la densidad, en comparación con un concreto patrón $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$.
- La adición del 15% de poliestireno expandido reciclado influye en una disminución del 24.27% en la resistencia a compresión y del 3.23% en la densidad, en comparación con un concreto patrón $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$.
- La adición del 20% de poliestireno expandido reciclado influye en una disminución del 29.28% en la resistencia a compresión y del 4.49% en la densidad, en comparación con un concreto patrón $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$.
- La adición del 25% de poliestireno expandido reciclado influye en una disminución del 45.02% en la resistencia a compresión y del 5.70% en la densidad, en comparación con un concreto patrón $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$.
- En general la resistencia a compresión y la densidad del concreto disminuye a medida que el porcentaje de adición del poliestireno expandido reciclado aumenta, además de los resultados obtenidos en los ensayos, se pudo comprobar que la adición de EPS reciclado no tiene un impacto significativo en la trabajabilidad de la mezcla. Esto indica que, a pesar de la presencia de este material, las propiedades de fluidez y facilidad de colocación del concreto se mantienen sin segregar sus componentes.

5.2. RECOMENDACIONES

Del desarrollo de la presente tesis se llegan a las siguientes recomendaciones:

- Se sugiere analizar adiciones de poliestireno expandido reciclado en otras proporciones hasta encontrar una dosificación óptima para su uso, con el fin de determinar su influencia en el concreto.
- Se recomienda llevar a cabo estudios adicionales para analizar de manera más integral el concreto con adición de EPS reciclado, evaluando aspectos como la resistencia a flexión, el módulo de elasticidad, las propiedades térmicas y acústicas, la durabilidad frente a ambientes agresivos (climas extremos, exposición a agentes químicos) y la resistencia al fuego. Estos análisis permitirán una evaluación más completa del comportamiento estructural, térmico y acústico del concreto, asegurando su viabilidad en una amplia variedad de aplicaciones y condiciones ambientales.
- En este proyecto de investigación, se ha empleado exclusivamente poliestireno expandido reciclado. Se sugiere que en estudios futuros se utilice otros tipos de adición como el poliestireno de cristal, poliestireno de alto Impacto y poliestireno extrudido para determinar cómo estas variantes del material influyen en las propiedades del concreto.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aceros Arequipa. (2024). *Características del concreto* | Aceros Arequipa. <https://www.acerosarequipa.com/manuales/manual-de-construccion-para-maestros-de-obra/caracteristicas-del-concreto>
- ACI 213 R. (2014). *Guide for Structural Lightweight-Aggregate Concrete Reapproved 2023*. <https://www.concrete.org/store/productdetail.aspx?ItemID=213U14&Language=English&Units=Metric>
- Acosta, F. J. de la C., López, A. S., & Martínez, F. C. (2015). Concreto Ligero utilizando Cáscara de Nuez. *Revista de Arquitectura e Ingeniería*, 9(1), 1-11.
- Alemán Camacho, W., Guzmán González, A., & Rodríguez Martínez, C. (2021). *Concretos ligeros modificados con poliestireno expandido: Revisión de literatura*. <https://hdl.handle.net/20.500.12494/34201>
- ANAPE. (2024). Poliestireno expandido. ANAPE. <https://anape.es/producto/>
- Arboleda Jaramillo, K., & Salazar Gil, D. O. (2020). *Diseño de concreto liviano mediante adición de poliestireno para observar su resistencia y funcionalidad a diferentes porcentajes* [Universidad Libre seccional Pereira]. <http://repository.unilibre.edu.co/handle/10901/22473>
- Arzapalo Gonzales, S. R. (2020). *Evaluación de la influencia de las perlas de poliestireno expandido en el concreto 210 kg/cm², Lima—2020* [Universidad César Vallejo]. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/58027>
- Cemex. (2024). *Hablando de Cementos Portland* | Cemex Peru. <https://www.cemex.com.pe/-/hablando-de-cementos-portland>
- Figuroa García, E. (2019). *Análisis del comportamiento a compresión del concreto ligero reemplazando el agregado grueso por perlas de poliestireno expandido* [Universidad Andina del Cusco]. <http://repositorio.uandina.edu.pe/handle/20.500.12557/4853>
- Fiol, F., Thomas, C., Muñoz, C., Ortega-López, V., & Manso, J. M. (2018). The influence of recycled aggregates from precast elements on the mechanical properties of structural

- self-compacting concrete. *Construction and Building Materials*, 182, 309-323.
<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.06.132>
- García, V. B. (2021, octubre 25). Cómo y dónde reciclar poliestireno expandido. *Knauf Industries*. <https://knauf-industries.es/como-donde-reciclar-poliestireno-expandido/>
- Loor-Santos, J. L., & Ruiz-Párraga, W. E. (2024). Análisis de resistencia del hormigón utilizando poliestireno expandido como alternativa constructiva de alivianamiento en viviendas de interés social. *MQRInvestigar*, 8(3), Article 3.
<https://doi.org/10.56048/MQR20225.8.3.2024.361-380>
- Makul, N. (2020). Advanced smart concrete—A review of current progress, benefits and challenges. *Journal of Cleaner Production*, 274, 122899.
<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.122899>
- Matallana Rodríguez, R. (2019). *El concreto: Fundamentos y nuevas tecnología*.
<https://empresa.corona.co/lanzamos-el-libro-el-concreto-fundamentos-y-nuevas-tecnologia/>
- Norma E.060. (2020). *CONCRETO ARMADO* (Versión Primera edición digital).
- NTP 334.001. (2022). *CEMENTOS. Terminología relacionada al cemento hidrúlico y otros cemento inorganicos*.
- NTP 334.009. (2023). *CEMENTOS. Cementos Portland. Réquisitos*. (Versión 9° Edición).
- NTP 339.034. (2021). *CONCRETO. Determinación de la resistencia a la compresión del concreto en muestras cilíndricas. Método de ensayo*.
- NTP 339.035. (2022). *CONCRETO. Medición del asentamiento del concreto de cemento hidráulico. Método de ensayo*.
- NTP 339.046. (2019). *CONCRETO. Método de ensayo para determinar la densidad (peso unitario), rendimiento y contenido de aire (método gravimétrico) del concreto*.
- NTP 339.047. (2023). *CONCRETO. Definiciones y terminología relativas al concreto y agregados* (Versión 5° Edición). INACAL.
- NTP 339.088. (2024). *CONCRETO. Agua de mezcla utilizada en la producción de concreto de cemento hidráulico. Requisitos* (Versión 5° Edición).

- NTP 339.183. (2021). *CONCRETO. Práctica para la elaboración y curado de especímenes de concreto en el laboratorio.*
- NTP 339.184. (2021). *CONCRETO. Determinación de la temperatura del cemento hidráulico recién mezclado. Método de ensayo.*
- NTP 339.185. (2021). *AGREGADOS. Determinación del contenido de humedad total evaporable de agregados por secado. Método de ensayo.*
- NTP 400.010. (2020). *AGREGADOS. Extracción y preparación de las muestras.*
- NTP 400.011. (2020). *AGREGADOS. Definición y clasificación de agregados para uso en morteros y concretos.*
- NTP 400.012. (2021). *AGREGADOS. Análisis granulométrico del agregado fino y grueso. Método de ensayo.*
- 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.*
- NTP 400.018. (2020). *AGREGADOS. Determinación de materiales más finos que pasan por el tamiz normalizado 75 μm (No. 200) por lavado en agregados. Método de ensayo.*
- NTP 400.019. (2020). *AGREGADOS. Determinación de la resistencia al desgaste en agregados gruesos de tamaños menores por abrasión e impacto en la máquina de Los Angeles. Método de ensayo.*
- NTP 400.021. (2020). *AGREGADOS. Densidad relativa (peso específico) y absorción del agregado grueso. Método de ensayo.*
- NTP 400.022. (2021). *AGREGADOS. Determinación de la densidad relativa (peso específico) y absorción del agregado fino. Método de ensayo.*
- NTP 400.037. (2021). *AGREGADOS. Agregados para concreto. Especificaciones.*
- NTP 400.043. (2021). *AGREGADOS. Reducir las muestras de agregados a tamaño de ensayo. Práctica.*
- Rivva López, E. (2014). *Tienda ICG (3ra Edición).* Instituto de la construcción y gerencia.
https://tienda.construccion.org/producto/materiales_para_el_concreto_3ra

Rojas Rosas, C. J. (2022). *Influencia de las perlas de poliestireno expandido en la resistencia a la compresión del concreto $f'c=260$ kg/cm² en la ciudad de Huánuco—2019* [UNIVERSIDAD DE HUANUCO].
<https://repositorio.udh.edu.pe/xmlui/handle/123456789/3676>

Roldan Navarro, C. C. (2023). *Evaluación de las propiedades del concreto simple con adición de poliestireno expandido para losas aligeradas* [Universidad Peruana Los Andes].
<http://repositorio.upla.edu.pe/handle/20.500.12848/6889>

ANEXOS

ANEXO I: RESULTADOS DE ENSAYOS DE LAS PROPIEDADES DE LOS AGREGADOS

1. Análisis Granulométrico

1.1. Módulo de Fineza del agregado fino (mf)

Tabla 11

Análisis granulométrico del agregado fino muestra M1

Peso Seco Inicial (g)		315.00			
Tamiz	Abertura (mm)	Peso Retenido Parcial (g)	% Retenido Parcial	% Retenido Acumulado	% Que Pasa
N°					
3/8"	9.53	0.00	0.00	0.00	100.00
N°4	4.75	12.00	3.81	3.81	96.19
N°8	3.36	41.00	13.02	16.83	83.17
N°16	1.18	62.00	19.68	36.51	63.49
N°30	0.6	75.00	23.81	60.32	39.68
N°50	0.3	81.00	25.71	86.03	13.97
N°100	0.15	34.00	10.79	96.83	3.17
N°200	0.075	10.00	3.17	100.00	0.00
Cazoleta	0	0.00	0.00	100.00	0.00
Total		315.00			
Módulo de Finura		3.003			

Figura 11

Curva de distribución granulométrica del agregado fino muestra M1

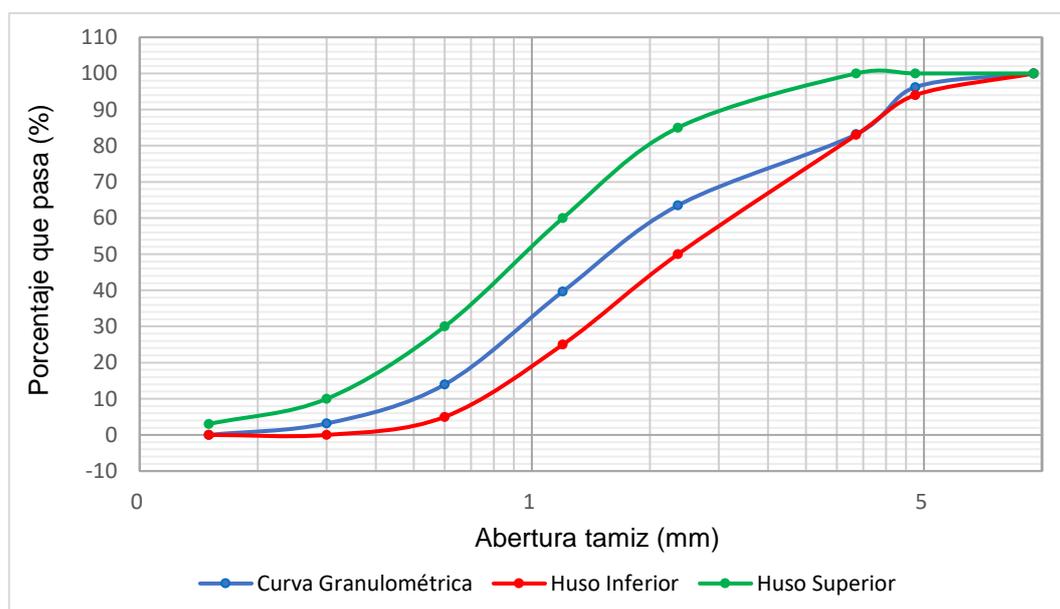


Tabla 12

Análisis granulométrico del agregado fino muestra M2

Tamiz		Peso Seco Inicial (g)		310.00	
N°	Abertura (mm)	Peso Retenido Parcial (g)	% Retenido Parcial	% Retenido Acumulado	% Que Pasa
3/8"	9.53	0.00	0.00	0.00	100.00
N°4	4.75	15.00	4.85	4.85	95.15
N°8	3.36	29.00	9.39	14.24	85.76
N°16	1.18	62.00	20.06	34.30	65.70
N°30	0.6	79.00	25.57	59.87	40.13
N°50	0.3	83.00	26.86	86.73	13.27
N°100	0.15	39.00	12.62	99.35	0.65
N°200	0.075	2.00	0.65	100.00	0.00
Cazoleta	0	0.00	0.00	100.00	0.00
Total		309.00			
		Módulo de Finura	2.994		

Figura 12

Curva de distribución granulométrica del agregado fino muestra M2.

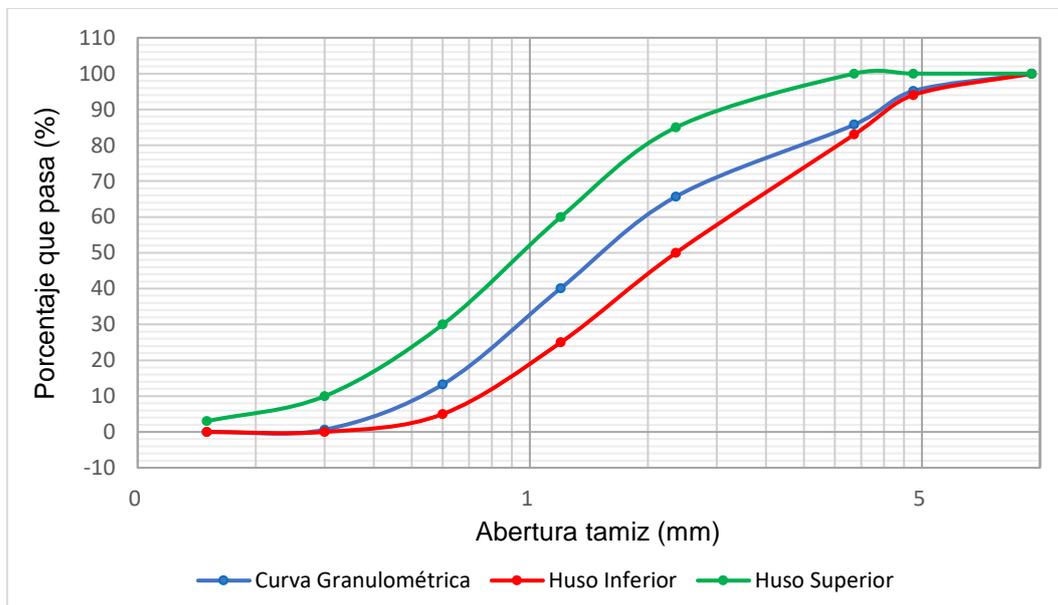


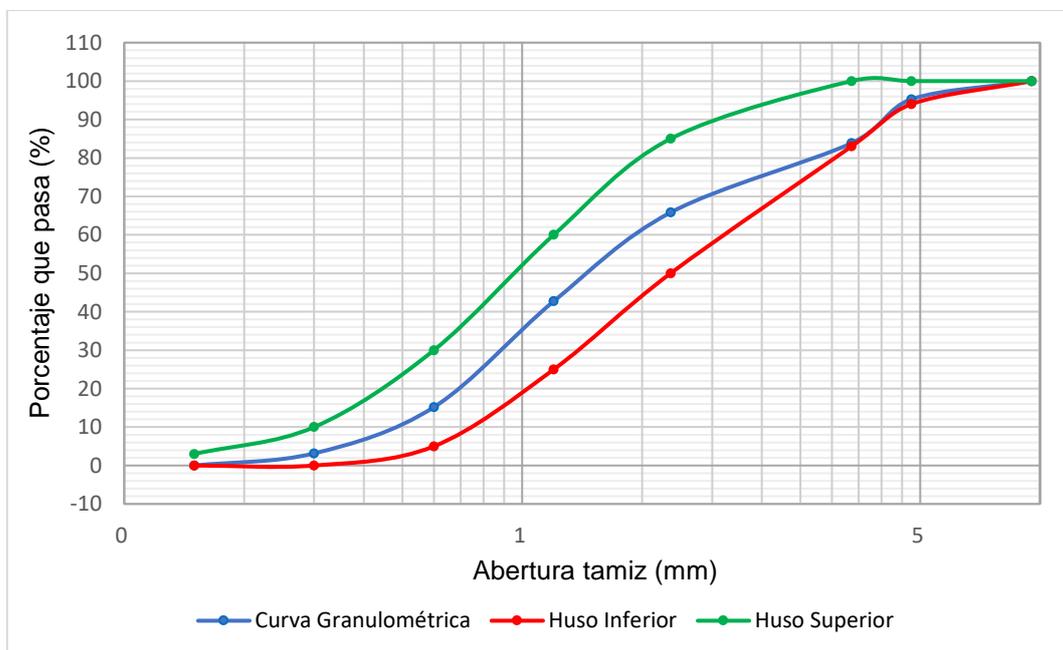
Tabla 13

Análisis granulométrico del agregado fino muestra M3

		Peso Seco Inicial (g)		316.00	
Tamiz		Peso Retenido Parcial (g)	% Retenido Parcial	% Retenido Acumulado	% Que Pasa
N°	Abertura (mm)				
3/8"	9.53	0.00	0.00	0.00	100.00
N°4	4.75	15.00	4.75	4.75	95.25
N°8	3.36	36.00	11.39	16.14	83.86
N°16	1.18	57.00	18.04	34.18	65.82
N°30	0.6	73.00	23.10	57.28	42.72
N°50	0.3	87.00	27.53	84.81	15.19
N°100	0.15	38.00	12.03	96.84	3.16
N°200	0.075	10.00	3.16	100.00	0.00
Cazoleta	0	0.00	0.00	100.00	0.00
Total		316.00			
		Módulo de Finura		2.940	

Figura 13

Curva de distribución granulométrica del agregado fino muestra M3.



1.2. Módulo de Fineza del agregado grueso (mg)

Tabla 14

Análisis granulométrico del agregado grueso muestra M1.

Tamiz		Peso Seco Inicial (g)		Huso 67	
N°	Abertura (mm)	Peso Retenido Parcial (g)	% Retenido Parcial	% Retenido Acumulado	% Que Pasa
3/4"	19.05	67.00	3.19	3.19	96.81
1/2"	12.7	796.00	37.90	41.10	58.90
3/8"	9.53	648.00	30.86	71.95	28.05
N°4	4.75	509.00	24.24	96.19	3.81
N°8	2.36	74.00	3.52	99.71	0.29
Cazoleta	0	6.00	0.29	100.00	0.00
Total		2100.00			
Módulo de Finura				6.71	

Figura 14

Curva de distribución granulométrica del agregado grueso muestra M1.

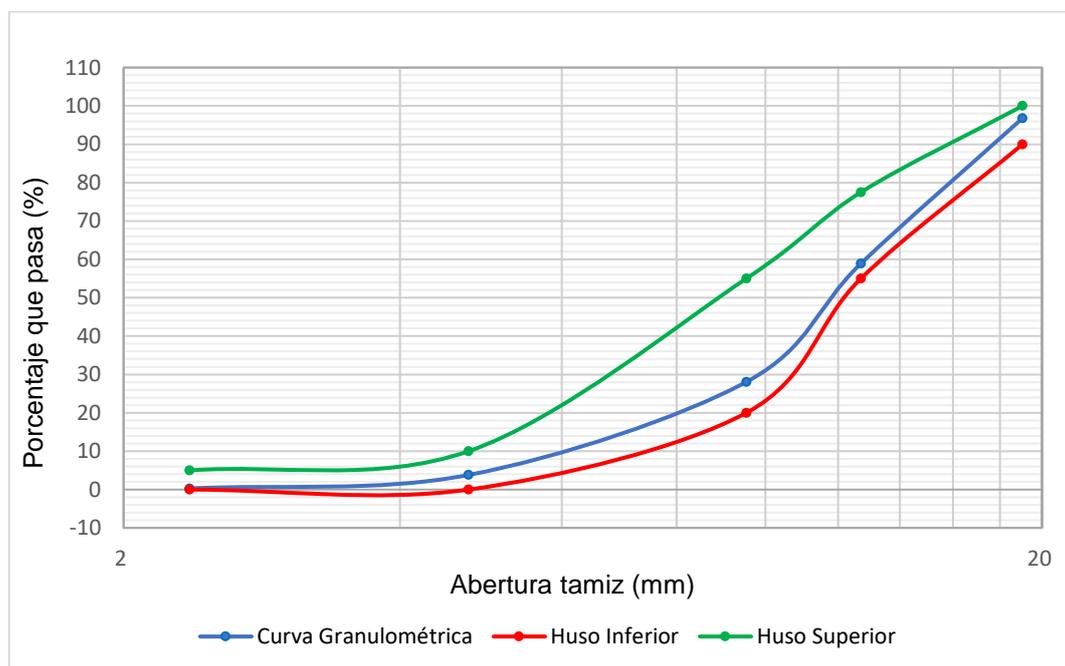


Tabla 15

Análisis granulométrico del agregado grueso muestra M2.

Peso Seco Inicial (g)			Huso 67		
Tamiz					
N°	Abertura (mm)	Peso Retenido Parcial (g)	% Retenido Parcial	% Retenido Acumulado	% Que Pasa
3/4"	19.05	26.00	1.30	1.30	98.70
1/2"	12.7	749.00	37.45	38.75	61.25
3/8"	9.53	572.00	28.60	67.35	32.65
N°4	4.75	557.00	27.85	95.20	4.80
N°8	2.36	78.00	3.90	99.10	0.90
Cazoleta	0	18.00	0.90	100.00	0.00
Total		2000.00			
Módulo de Finura			6.64		

Figura 15

Curva de distribución granulométrica del agregado grueso muestra M2.

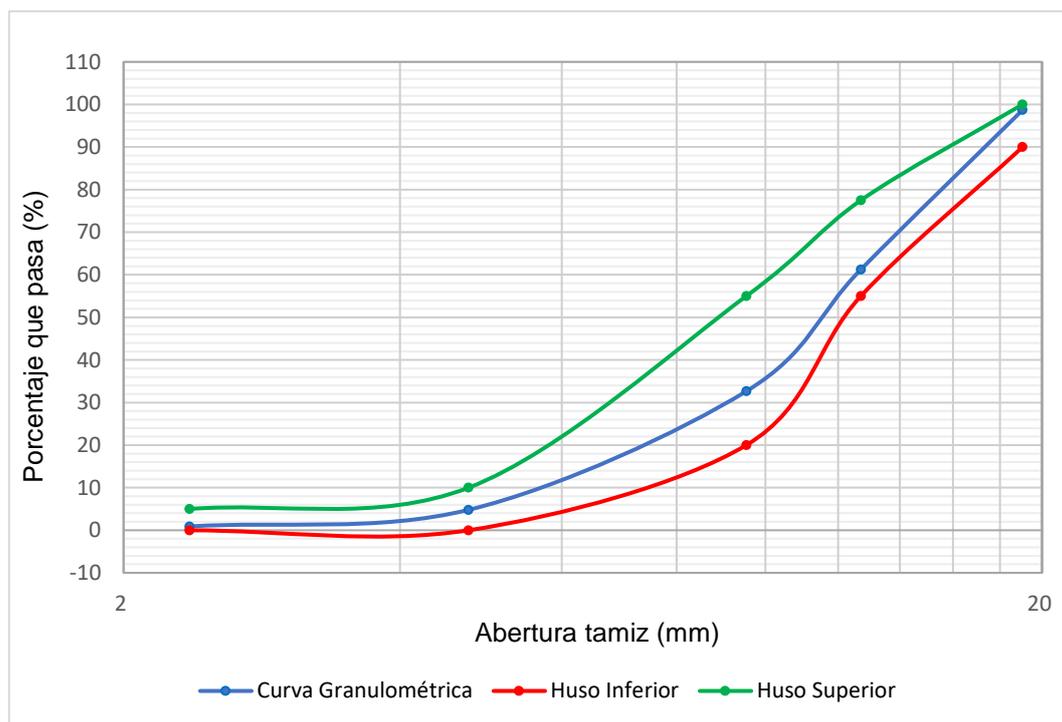


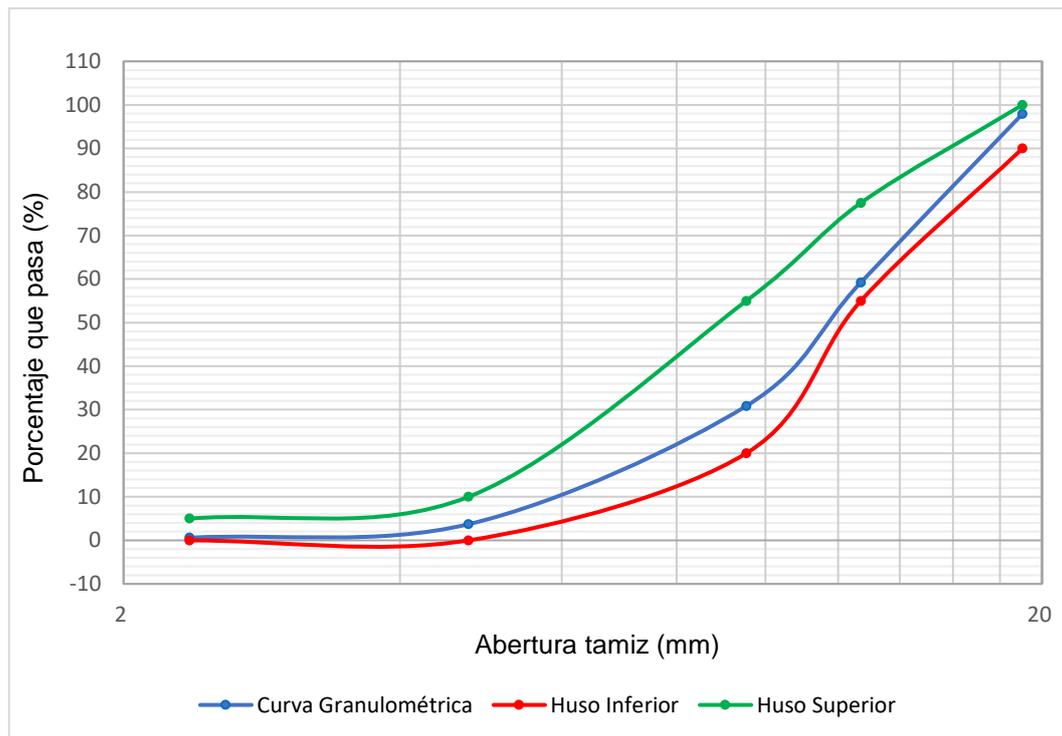
Tabla 16

Análisis granulométrico del agregado grueso muestra M3.

Peso Seco Inicial (g)			Huso 67		
Tamiz					
N°	Abertura (mm)	Peso Retenido Parcial (g)	% Retenido Parcial	% Retenido Acumulado	% Que Pasa
3/4"	19.05	43.00	2.05	2.05	97.95
1/2"	12.7	813.00	38.71	40.76	59.24
3/8"	9.53	596.00	28.38	69.14	30.86
N°4	4.75	570.00	27.14	96.29	3.71
N°8	2.36	65.00	3.10	99.38	0.62
Cazoleta	0	13.00	0.62	100.00	0.00
Total		2100.00			
Módulo de Finura			6.67		

Figura 16

Curva de distribución granulométrica del agregado grueso muestra M3.



2. Materiales más finos que pasa el tamiz N°200

2.1. Materiales más finos que pasan el tamiz N°200 para el agregado fino.

Tabla 17

Partículas menores que pasan el tamiz N°200 para el agregado fino.

Descripción	Unidad	M1	M2	M3	Promedio
Peso de la Muestra Original Seca	g	395.00	445.00	470.00	
Peso de la muestra Lavada	g	386.00	433.00	455.00	
Peso del Material que pasa el Tamiz N°200	g	9.00	12.00	15.00	
Material que Pasa el Tamiz N°200	%	2.28	2.70	3.19	2.72

2.2. Materiales más finos que pasan el tamiz N°200 para el agregado grueso.

Tabla 18

Partículas menores que pasan el tamiz N°200 para el agregado grueso.

Descripción	Unidad	M1	M2	M3	Promedio
Peso de la Muestra Original Seca	g	1250.00	1265.00	1225.00	
Peso de la muestra Lavada	g	1243.00	1259.00	1221.00	
Peso del Material que pasa el Tamiz N°200	g	7.00	6.00	4.00	
Material que Pasa el Tamiz N°200	%	0.56	0.47	0.33	0.45

3. Peso Unitario

3.1. Peso Unitario Suelto y Compactado del agregado fino.

Tabla 19

Peso específico del agua.

Descripción	Unidad	M1	M2	M3	Promedio
Peso de Fiola	g	177	168	193	
Peso de Fiola + Agua	g	673	664	689	
Volumen de la fiola	cm ³	500	500	500	
Peso específico	g/cm³	0.992	0.992	0.992	0.992
Peso específico del agua	kg/cm³	992	992	992	992

Tabla 20

Factor f del recipiente.

Descripción	Unidad	M1	M2	M3	Promedio
Peso del recipiente + placa de vidrio	g	4398.00	4397.00	4399.00	
Peso del Recipiente + Placa de vidrio + Agua	g	7408.00	7410.00	7406.00	
Peso del Agua	kg	3.01	3.01	3.01	
Densidad del agua a T° medida	kg/m ³	998.11	998.11	998.11	
Factor f	1/m³	331.60	331.27	331.93	331.60

Tabla 21

Peso unitario suelto agregado fino

Descripción	Unidad	M1	M2	M3	Promedio
Peso del recipiente	g	3870.00	3870.00	3870.00	
Peso del Recipiente + Peso de muestra suelta	g	8310.00	8387.00	8362.00	
Peso de la muestra suelta	g	4440.00	4517.00	4492.00	
Factor f	1/m ³	331.60	331.60	331.60	
Peso Unitario Suelto	g/cm³	1.47	1.50	1.49	
Peso Unitario Suelto	kg/m³	1472.30	1497.83	1489.54	1486.56

Tabla 22*Peso unitario compactado agregado fino*

Descripción	Unidad	M1	M2	M3	Promedio
Peso del recipiente	g	3870.00	3870.00	3870.00	
Peso del Recipiente + Peso de muestra Compactado	g	9028.00	9096	9042	
Peso de la muestra suelta	g	5158.00	5226.00	5172.00	
Factor f	1/m3	331.60	331.60	331.60	
Peso Unitario Compactado	g/cm3	1.71	1.73	1.72	
Peso Unitario Compactado	kg/m3	1710.39	1732.94	1715.03	1719.45

3.2. Peso Unitario Suelto y Compactado del agregado grueso.**Tabla 23***Peso específico del agua.*

Descripción	Unidad	M1	M2	M3	Promedio
Peso de Fiola	g	177	168	193	
Peso de Fiola + Agua	g	673	664	689	
Volumen de la fiola	cm3	500	500	500	
Peso específico	g/cm3	0.992	0.992	0.992	0.992
Peso específico del agua	kg/cm3	992	992	992	992

Tabla 24*Factor f del recipiente.*

Descripción	Unidad	M1	M2	M3	Promedio
Peso del recipiente + placa de vidrio	g	6473.00	6472.00	6474.00	
Peso del Recipiente + Placa de vidrio + Agua	g	16252.00	16258.00	16251.00	
Peso del Agua	kg	9.78	9.79	9.78	
Densidad del agua a T° medida	kg/m3	998.28	998.28	998.28	
Factor f	1/m3	102.08	102.01	102.10	102.07

Tabla 25*Peso Unitario suelto del agregado grueso.*

Descripción	Unidad	M1	M2	M3	Promedio
Peso del recipiente	g	4193.00	4193.00	4193.00	
Peso del Recipiente + Peso de muestra suelta	g	18512.00	18662	18135	
Peso de la muestra suelta	g	14319.00	14469.00	13942.00	
Factor f	1/m3	102.07	102.07	102.07	
Peso Unitario Suelto	g/cm3	1.46	1.48	1.42	
Peso Unitario Suelto	kg/m3	1461.49	1476.80	1423.01	1453.76

Tabla 26*Peso Unitario compactado del agregado grueso.*

Descripción	Unidad	M1	M2	M3	Promedio
Peso del recipiente	g	4193.00	4193.00	4193.00	
Peso del Recipiente + Peso de muestra Compactado	g	19853.00	19819.00	19447.00	
Peso de la muestra suelta	g	15660.00	15626.00	15254.00	
Factor f	1/m3	102.07	102.07	102.07	
Peso Unitario Compactado	g/cm3	1.60	1.59	1.56	
Peso Unitario Compactado	kg/m3	1598.36	1594.89	1556.92	1583.39

4. Peso Específico y Absorción

4.1. Peso Específico y Absorción del agregado fino

Tabla 27*Resultados de ensayo de Peso Específico y Absorción del agregado fino.*

Descripción	Unidad	M1	M2	M3	Promedio
Peso de fiola	g	177	168	193	
Peso de la muestra secada al horno (A)	g	488	491	489	
Peso de fiola + agua hasta menisco (B)	g	673	664	689	
Peso de fiola + agua + muestra (C)	g	980	973	996	
Peso de la muestra SSS (S)	g	500	500	500	
Peso Específico de Masa	g/m3	2.528	2.571	2.534	2.544

Peso Específico Aparente	g/m3	2.696	2.698	2.687	2.694
Peso Específico de Masa SSS	g/m3	2.591	2.618	2.591	2.600
Absorción	%	2.46	1.83	2.25	2.18

4.2. Peso específico y Absorción del agregado grueso

Tabla 28

Resultados de ensayo de Peso Específico y Absorción del agregado grueso.

Descripción	Unidad	M1	M2	M3	Promedio
Peso en el aire de la muestra seca al horno (A)	g	2167	2174	2094	
Peso en el aire de muestra SSS (B)	g	2196	2205	2123	
Peso de muestra SSS + Canastilla sumergida	g	3845	3517	3446	
Peso canastilla sumergida	g	2311	2311	2311	
Peso en el agua de muestra saturada (C)	g	1534	1206	1135	
Peso Específico de Masa	g/m3	3.273	2.176	2.119	2.523
Peso Específico Aparente	g/m3	3.423	2.246	2.184	2.618
Peso Específico de Masa SSS	g/m3	3.317	2.207	2.149	2.558
Absorción	%	1.34	1.43	1.38	1.38

5. Contenido de Humedad

5.1. Contenido de humedad del agregado fino.

Tabla 29

Resultados de contenido de humedad del agregado fino.

Descripción	Unidad	M1	M2	M3	Promedio
Peso del Recipiente	g	128.00	82.00	93.00	
Peso del Recipiente + muestra Húmeda	g	2954.00	2127.00	2393.00	

Peso del Recipiente + muestra seca	g	2780.00	1995.00	2250.00	
Peso de agua	g	174.00	132.00	143.00	
Peso de muestra seca	g	2652.00	1913.00	2157.00	
Contenido de Humedad	W %	6.56	6.90	6.63	6.697

5.2. Contenido de humedad del agregado grueso.

Tabla 30

Resultados de contenido de humedad de agregado grueso.

Descripción	Unidad	M1	M2	M3	Promedio
Peso del Recipiente	g	84.00	80.00	136.00	
Peso del Recipiente + muestra Húmeda	g	2821.00	2885.00	3086.00	
Peso del Recipiente + muestra seca	g	2765.00	2822.00	3030.00	
Peso de agua	g	56.00	63.00	56.00	
Peso de muestra seca	g	2681.00	2742.00	2894.00	
Contenido de Humedad	W %	2.09	2.30	1.94	2.107

6. Resistencia a la Abrasión

Tabla 31

Resistencia a la Abrasión del agregado grueso.

Graduación	Equipo Mecánico	N° de Esferas	Velocidad (rev./min)	N° de Rev.	TMN	Peso de la muestra (g)
B	Máquina de los Ángeles	12	30 -33	500	1/2"	5000.00
N° DE ENSAYOS				M1	M2	M3
Peso inicial de la muestra seca al horno				5000	5000	5000
Peso retenido en la malla N°12 Lavado y secado al horno en (g)				3509	3521	3518
% Desgaste = $(P_i - P_f)/P_i \times 100$				29.82	29.58	29.64
% Abrasión promedio					29.68	

ANEXO II: TABLAS ACI PARA LOS DISEÑOS DE MEZCLA DE CONCRETO

Tabla 32

Volumen unitario de agua.

VOLUMEN UNITARIO DE AGUA								
Tipo de concreto	Agua en l/m ³ , para los tamaños máx. nominales de agregados grueso y consistencia indicada							
Asentamiento	3/8"	1/2"	3/4"	1"	1 1/2"	2"	3"	6"
Concreto sin aire incorporado								
1 a 2 pulg.	207	199	190	179	166	154	130	113
3 a 4 pulg.	228	216	205	193	181	169	145	124
6 a 7 pulg.	243	228	216	202	190	178	160	-
Concreto con aire incorporado								
1 a 2 pulg.	181	175	168	160	150	142	122	107
3 a 4 pulg.	202	193	184	175	165	157	133	119
6 a 7 pulg.	216	205	197	184	174	166	154	-

Fuente: Comité 211 del ACI.

Tabla 33

Contenido de aire.

Contenido de aire atrapado	
Tamaño máximo nominal	Aire atrapado (%)
3/8"	3.00
1/2"	2.50
3/4"	2.00
1"	1.50
1 1/2"	1.00
2"	0.50

Fuente: Comité 211 del ACI.

Tabla 34*Relación agua-cemento (a/c) por resistencia.*

RELACIÓN AGUA/CEMENTO POR RESISTENCIA		
f'c (kg/cm ²)	Relación agua/cemento en peso	
	Concreto sin aire incorporado	Concreto con aire incorporado
150	0.80	0.71
200	0.70	0.61
250	0.62	0.53
300	0.55	0.46
350	0.48	0.4
400	0.43	-
450	0.38	-

*Fuente: Comité 211 del ACI.***Tabla 35***Módulo de fineza de la combinación de agregados.*

MÓDULOS DE FINEZA DE LA COMBINACIÓN DE AGREGADOS						
Tamaño máximo nominal del agregado grueso		Módulo de fineza de la combinación de agregados que da las mejores condiciones de trabajabilidad para contenidos de cemento sacos/m ³ indicados				
mm	Pulg	5	6	7	8	9
10	3/8"	3.88	3.96	4.04	4.11	4.19
12.5	1/2"	4.38	4.46	4.54	4.61	4.69
20	3/4"	4.88	4.96	5.04	5.11	5.19
25	1"	5.18	5.26	5.34	5.41	5.49
40	1 1/2"	5.48	5.56	5.64	5.71	5.79
50	2"	5.78	5.86	5.94	6.01	6.09
70	3"	6.08	6.16	6.24	6.31	6.39

Fuente: Rivva, 2013.

ANEXO III: DISEÑO DE MEZCLAS

Tabla 36

Diseño de mezcla concreto patrón $f'c=210$ Kg/cm²

DISEÑO DE MEZCLA DEL CONCRETO PATRÓN

I. ESPECIFICACIONES

1.1. Resistencia a compresión

$$f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$$

1.2. Materiales

1.2.1. Cemento

$$\text{Tipo} = \text{Pacasmayo - Tipo I}$$

$$\text{Peso Específico} = 3.11 \text{ gr/cm}^3$$

1.2.2. Características de los agregados

Descripción	Agregado Fino	Agregado grueso	Unidades
Tamaño máximo nominal		1/2	"
Módulo de fineza	2.98	6.68	
Peso específico de masa	2.54	2.52	g/m ³
Peso específico de masa SSS	2.60	2.56	g/m ³
Peso específico aparente	2.69	2.62	g/m ³
Peso unitario suelto	1487	1454	kg/m ³
Peso unitario compactado	1719	1583	kg/m ³
Absorción	2.18	1.38	%
Contenido de humedad	6.70	2.11	%
Abrasión		29.68	%
Partículas que pasan malla N°200	2.72	0.45	%
Porcentaje de vacíos			%

1.2.3. Agua

Agua potable de la Universidad Nacional de Cajamarca

II. SECUENCIA DE DISEÑO

2.1. Resistencia a compresión requerida ($f'cr$)

En cuanto al nivel de control de obra, se usa el valor de condiciones excelentes gracias a la calidad de los materiales de ejecución de la obra.
 $f'cr = 1.10 * 210 \text{ kg/cm}^2$

$$f'cr = 231 \text{ kg/cm}^2$$

2.2. Tamaño máximo nominal

$$\text{TMN} = 1/2" \text{ } 12.50 \text{ mm}$$

2.3. Asentamiento:									
	Consistencia	=	Plástica 3 a 4 pulg						
2.4. Volumen unitario de agua (Tabla 32)									
	Agua	=	216 lt/m3						
2.5. Contenido de aire (Tabla 33)									
	Cont. Aire	=	2.5 %						
2.6. Relación agua - cemento (a/c) (Tabla 34)									
	Interpolación de a/c por resistencia								
			<table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <tr><td>250</td><td>0.62</td></tr> <tr><td>231</td><td>0.65</td></tr> <tr><td>200</td><td>0.70</td></tr> </table>	250	0.62	231	0.65	200	0.70
250	0.62								
231	0.65								
200	0.70								
	Agua - cemento	=	0.65						
2.7. Peso y Factor del cemento									
	Cemento	=	332.10 kg/m3						
	Factor cemento	=	7.81 bolsas/m3						
2.8. Volúmenes absolutos de la pasta									
	Cemento	=	0.106786 m3						
	Agua	=	0.216000 m3						
	Aire	=	0.025000 m3						
	Volumen de pasta	=	0.347786 m3						
2.9. Volúmenes absolutos de los agregados									
	Volumen de agregados	=	0.652214 m3						
2.10. Selección del agregado fino (Tabla 36)									
	Interpolación de módulo de fineza de la combinación de agregados								
			<table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <tr><td>7.00</td><td>4.54</td></tr> <tr><td>7.81</td><td>4.60</td></tr> <tr><td>8.00</td><td>4.61</td></tr> </table>	7.00	4.54	7.81	4.60	8.00	4.61
7.00	4.54								
7.81	4.60								
8.00	4.61								
	mc	=	4.597						
	rf	=	0.562						
	Volumen Agr. Fino	=	0.366722 m3						
	Peso seco de Agr. Fino	=	933.05 kg/m3						
2.11. Selección del agregado grueso									
	rg	=	0.438						
	Volumen Agr. Grueso	=	0.285492 m3						
	Peso seco de Agr. Grueso	=	720.30 kg/m3						
2.12. Valores de diseño									
	Cemento	=	332.10 kg/m3						
	Agua	=	216.00 lt/m3						
	Agr. Fino	=	933.05 kg/m3						
	Agr. Grueso	=	720.30 kg/m3						
2.13. Corrección por humedad de agregados									
	Cálculo de los pesos húmedos								

Agregado fino	=	995.53	kg/m ³
Agregado grueso	=	735.48	kg/m ³
Humedad superficial			
Agregado fino	=	4.52	%
Agregado grueso	=	0.72	%
Aporte de humedad			
Agregado fino	=	42.14	lt/m ³
Agregado grueso	=	5.20	lt/m ³
Total	=	47.34	lt/m ³
Agua efectiva	=	168.66	lt/m ³
Pesos de los materiales corregidos por humedad			
Cemento	=	332.10	kg/m ³
Agua	=	168.66	lt/m ³
Agr. Fino	=	995.53	kg/m ³
Agr. Grueso	=	735.48	kg/m ³

Tabla 37

Adición del 10% de poliestireno expandido reciclado en el concreto patrón $f'c=210\text{Kg/cm}^2$.

DOSIFICACIÓN DE CONCRETO CON 10% DE POLIESTIRENO EXPANDIDO RECICLADO

Propiedades del Poliestireno expandido

Densidad	=	10	kg/m ³
----------	---	----	-------------------

Volúmenes Absolutos

Pasta	=	0.347786	m ³
-------	---	----------	----------------

Cemento	=	0.106786	m ³
---------	---	----------	----------------

Agua	=	0.216000	m ³
------	---	----------	----------------

Aire	=	0.025000	m ³
------	---	----------	----------------

Agregados	=	0.680764	m ³
-----------	---	----------	----------------

Agregado fino	=	0.366722	m ³
---------------	---	----------	----------------

Agregado grueso	=	0.285492	m ³
-----------------	---	----------	----------------

Poliestireno expandido al 10%	=	0.028549	m ³
-------------------------------	---	----------	----------------

Peso seco de los materiales

Cemento	=	332.10	kg/m ³
---------	---	--------	-------------------

Agua de diseño	=	216.00	l/m ³
----------------	---	--------	------------------

Agregado fino	=	933.05	kg/m ³
---------------	---	--------	-------------------

Agregado grueso	=	720.30	kg/m ³
-----------------	---	--------	-------------------

Poliestireno expandido al 10%	=	0.285	kg/m ³
-------------------------------	---	-------	-------------------

Corrección de humedad de los agregados

Cemento	=	332.10	kg/m ³
---------	---	--------	-------------------

Agua efectiva	=	168.66	l/m ³
Agregado fino	=	995.53	kg/m ³
Agregado grueso	=	735.48	kg/m ³
Poliestireno expandido al 10%	=	0.285	kg/m ³
Proporción en peso			
Cemento	=	1.00	
Agregado fino	=	3.00	
Agregado grueso	=	2.21	
Poliestireno expandido al 10%	=	0.001	
Agua efectiva	=	21.58	l/bolsa
Cantidad de materiales por tanda			
Cemento	=	42.50	kg/bolsa
Agregado fino	=	127.40	kg/bolsa
Agregado grueso	=	94.12	kg/bolsa
Poliestireno expandido al 10%	=	0.04	kg/bolsa
Agua efectiva	=	21.58	l/bolsa
Proporción en volumen			
Cemento	=	1	
Agregado fino	=	2.81	
Agregado grueso	=	2.22	
Poliestireno expandido al 10%	=	0.13	
Agua efectiva	=	21.58	l/bolsa
Proporción por tanda			
Tanda	=	0.02	m ³
Cemento	=	6.642	kg/tanda
Agua efectiva	=	3.373	kg/tanda
Agregado fino	=	19.911	kg/tanda
Agregado grueso	=	14.710	kg/tanda
Poliestireno expandido al 10%	=	0.0057	kg/tanda

Tabla 38

Adición del 15% de poliestireno expandido reciclado en el concreto patrón $f'c=210\text{Kg/cm}^2$.

DOSIFICACIÓN DE CONCRETO CON 15% DE POLIESTIRENO EXPANDIDO RECICLADO			
Propiedades del Poliestireno expandido			
Densidad	=	10	kg/m ³
Volúmenes Absolutos			
Pasta	=	0.347786	m ³
Cemento	=	0.106786	m ³
Agua	=	0.216000	m ³
Aire	=	0.025000	m ³
Agregados	=	0.695038	m ³

Agregado fino	=	0.366722	m ³
Agregado grueso	=	0.285492	m ³
Poliestireno expandido al 15%	=	0.042824	m ³
Peso seco de los materiales			
Cemento	=	332.10	kg/m ³
Agua de diseño	=	216.00	l/m ³
Agregado fino	=	933.05	kg/m ³
Agregado grueso	=	720.30	kg/m ³
Poliestireno expandido al 10%	=	0.428	kg/m ³
Corrección de humedad de los agregados			
Cemento	=	332.10	kg/m ³
Agua efectiva	=	168.66	l/m ³
Agregado fino	=	995.53	kg/m ³
Agregado grueso	=	735.48	kg/m ³
Poliestireno expandido al 10%	=	0.428	kg/m ³
Proporción en peso			
Cemento	=	1.00	
Agregado fino	=	3.00	
Agregado grueso	=	2.21	
Poliestireno expandido al 10%	=	0.001	
Agua efectiva	=	21.58	l/bolsa
Cantidad de materiales por tanda			
Cemento	=	42.50	kg/bolsa
Agregado fino	=	127.40	kg/bolsa
Agregado grueso	=	94.12	kg/bolsa
Poliestireno expandido al 10%	=	0.05	kg/bolsa
Agua efectiva	=	21.58	l/bolsa
Proporción en volumen			
Cemento	=	1	
Agregado fino	=	2.81	
Agregado grueso	=	2.22	
Poliestireno expandido al 10%	=	0.19	
Agua efectiva	=	21.58	l/bolsa
Proporción por tanda			
Tanda	=	0.02	m ³
Cemento	=	6.642	kg/tanda
Agua efectiva	=	3.373	kg/tanda
Agregado fino	=	19.911	kg/tanda
Agregado grueso	=	14.710	kg/tanda
Poliestireno expandido al 10%	=	0.009	kg/tanda

Tabla 39

Adición del 20% de poliestireno expandido reciclado en el concreto patrón $f'c=210\text{Kg}/\text{cm}^2$.

DOSIFICACIÓN DE CONCRETO CON 20% DE POLIESTIRENO EXPANDIDO RECICLADO			
Propiedades del Poliestireno expandido			
Densidad	=	10	kg/m ³
Volúmenes Absolutos			
Pasta	=	0.347786	m ³
Cemento	=	0.106786	m ³
Agua	=	0.216000	m ³
Aire	=	0.025000	m ³
Agregados	=	0.709313	m ³
Agregado fino	=	0.366722	m ³
Agregado grueso	=	0.285492	m ³
Poliestireno expandido al 20%	=	0.057098	m ³
Peso seco de los materiales			
Cemento	=	332.10	kg/m ³
Agua de diseño	=	216.00	l/m ³
Agregado fino	=	933.05	kg/m ³
Agregado grueso	=	720.30	kg/m ³
Poliestireno expandido al 10%	=	0.571	kg/m ³
Corrección de humedad de los agregados			
Cemento	=	332.10	kg/m ³
Agua efectiva	=	168.66	l/m ³
Agregado fino	=	995.53	kg/m ³
Agregado grueso	=	735.48	kg/m ³
Poliestireno expandido al 10%	=	0.571	kg/m ³
Proporción en peso			
Cemento	=	1.00	
Agregado fino	=	3.00	
Agregado grueso	=	2.21	
Poliestireno expandido al 10%	=	0.002	
Agua efectiva	=	21.58	l/bolsa
Cantidad de materiales por tanda			
Cemento	=	42.50	kg/bolsa
Agregado fino	=	127.40	kg/bolsa
Agregado grueso	=	94.12	kg/bolsa
Poliestireno expandido al 10%	=	0.07	kg/bolsa
Agua efectiva	=	21.58	l/bolsa
Proporción en volumen			
Cemento	=	1	

Agregado fino	=	2.81	
Agregado grueso	=	2.22	
Poliestireno expandido al 10%	=	0.26	
Agua efectiva	=	21.58	l/bolsa
Proporción por tanda			
Tanda	=	0.02	m ³
Cemento	=	6.642	kg/tanda
Agua efectiva	=	3.373	kg/tanda
Agregado fino	=	19.911	kg/tanda
Agregado grueso	=	14.710	kg/tanda
Poliestireno expandido al 10%	=	0.0114	kg/tanda

Tabla 40

Adición del 25% de poliestireno expandido reciclado en el concreto patrón $f'c=210\text{Kg/cm}^2$.

DOSIFICACIÓN DE CONCRETO CON 25% DE POLIESTIRENO EXPANDIDO RECICLADO			
Propiedades del Poliestireno expandido			
Densidad	=	10	kg/m ³
Volúmenes Absolutos			
Pasta	=	0.347786	m ³
Cemento	=	0.106786	m ³
Agua	=	0.216000	m ³
Aire	=	0.025000	m ³
Agregados	=	0.723587	m ³
Agregado fino	=	0.366722	m ³
Agregado grueso	=	0.285492	m ³
Poliestireno expandido al 25%	=	0.071373	m ³
Peso seco de los materiales			
Cemento	=	332.10	kg/m ³
Agua de diseño	=	216.00	l/m ³
Agregado fino	=	933.05	kg/m ³
Agregado grueso	=	720.30	kg/m ³
Poliestireno expandido al 10%	=	0.714	kg/m ³
Corrección de humedad de los agregados			
Cemento	=	332.10	kg/m ³
Agua efectiva	=	168.66	l/m ³
Agregado fino	=	995.53	kg/m ³
Agregado grueso	=	735.48	kg/m ³
Poliestireno expandido al 10%	=	0.714	kg/m ³

Proporción en peso

Cemento	=	1.00	
Agregado fino	=	3.00	
Agregado grueso	=	2.21	
Poliestireno expandido al 10%	=	0.002	
Agua efectiva	=	21.58	l/bolsa

Cantidad de materiales por tanda

Cemento	=	42.50	kg/bolsa
Agregado fino	=	127.40	kg/bolsa
Agregado grueso	=	94.12	kg/bolsa
Poliestireno expandido al 10%	=	0.09	kg/bolsa
Agua efectiva	=	21.58	l/bolsa

Proporción en volumen

Cemento	=	1	
Agregado fino	=	2.81	
Agregado grueso	=	2.22	
Poliestireno expandido al 10%	=	0.32	
Agua efectiva	=	21.58	l/bolsa

Proporción por tanda

Tanda	=	0.02	m ³
Cemento	=	6.642	kg/tanda
Agua efectiva	=	3.373	kg/tanda
Agregado fino	=	19.911	kg/tanda
Agregado grueso	=	14.710	kg/tanda
Poliestireno expandido al 10%	=	0.0143	kg/tanda

ANEXO IV: RESULTADOS DE ENSAYOS DEL CONCRETO

1. Determinación de Propiedades de concreto en Estado Fresco

1.2. Peso unitario del concreto fresco

Tabla 41

Resultados de los ensayos de peso unitario de concreto en estado fresco con adición de EPS reciclado.

Descripción	Muestra	Peso del recipiente (kg)	Peso del Recipiente + Concreto (kg)	Peso del concreto (kg)	Factor f	Peso unitario (kg/m ³)	Peso unitario promedio (kg)	Variación
Patrón	M1	4.193	27.38	23.19	102.07	2366.93	2354.69	
	M2	4.193	27.25	23.06	102.07	2353.60		
	M3	4.193	27.15	22.96	102.07	2343.55		
10% de poliestireno expandido	M5	4.193	26.67	22.48	102.07	2294.22	2296.00	-2.56%
	M6	4.193	26.71	22.52	102.07	2298.31		
	M7	4.193	26.68	22.49	102.07	2295.48		
15% de poliestireno expandido	M5	4.193	26.35	22.16	102.07	2261.88	2267.23	-3.86%
	M6	4.193	26.46	22.26	102.07	2272.21		
	M7	4.193	26.41	22.22	102.07	2267.61		
20% de poliestireno expandido	M5	4.193	26.06	21.87	102.07	2232.23	2242.04	-5.02%
	M6	4.193	26.24	22.05	102.07	2250.50		
	M7	4.193	26.17	21.98	102.07	2243.38		
25% de poliestireno expandido	M5	4.193	25.94	21.74	102.07	2219.30	2217.82	-6.17%
	M6	4.193	25.91	21.71	102.07	2216.29		
	M7	4.193	25.92	21.73	102.07	2217.85		

2. Determinación de Propiedades de concreto en Estado endurecido

2.1 Peso Unitario del concreto endurecido

Tabla 42 Resultados de ensayos de peso unitario de concreto en estado endurecido con adición de EPS reciclado.

Descripción	Edad (Días)	Muestra	Diámetro promedio (cm)	Altura promedio (cm)	Área (cm ²)	Volumen (M ³)	Peso del concreto endurecido (kg)	Peso Unitario (kg/m ³)	Peso Unitario promedio (kg/m ³)	Variación
Patrón	28	M9	15.242	30.167	182.463	0.006	12.871	2338.353	2338.13	
	28	M10	15.315	30.333	184.223	0.006	13.008	2327.805		
	28	M11	15.191	30.100	181.236	0.005	12.873	2359.765		
	28	M12	15.284	30.267	183.462	0.006	12.919	2326.582		
10% de poliestireno expandido	28	M9	15.320	30.200	184.327	0.006	12.698	2281.071	2288.02	-2.19%
	28	M10	15.228	30.300	182.136	0.006	12.767	2313.399		
	28	M11	15.276	30.100	183.286	0.006	12.572	2278.813		
	28	M12	15.291	30.133	183.638	0.006	12.610	2278.795		
15% de poliestireno expandido	28	M9	15.315	30.067	184.207	0.006	12.364	2232.378	2265.07	-3.23%
	28	M10	15.251	30.133	182.683	0.006	12.538	2277.635		
	28	M11	15.245	30.367	182.543	0.006	12.626	2277.739		
	28	M12	15.271	30.400	183.150	0.006	12.653	2272.548		
20% de poliestireno expandido	28	M9	15.233	30.267	182.256	0.006	12.440	2255.148	2237.62	-4.49%
	28	M10	15.350	30.400	185.058	0.006	12.554	2231.521		
	28	M11	15.300	30.233	183.854	0.006	12.425	2235.304		
	28	M12	15.283	30.433	183.454	0.006	12.442	2228.505		
25% de poliestireno expandido	28	M9	15.333	30.267	184.656	0.006	12.225	2187.360	2212.11	-5.70%
	28	M10	15.300	30.233	183.854	0.006	12.351	2221.991		
	28	M11	15.267	30.267	183.054	0.006	12.341	2227.442		
	28	M12	15.283	30.500	183.454	0.006	12.375	2211.660		

2.2. Resistencia a Compresión del Concreto

Tabla 43

Resultados de ensayos a compresión del concreto a edad de 7 días con adición de EPS reciclado.

Descripción	Edad (Días)	Muestra	Diámetro promedio (cm)	Altura promedio (cm)	Área (cm ²)	Carga de ruptura (KN)	Carga de ruptura (kg)	f'c máx (kg/cm ²)	f'c promedio (kg/cm ²)	Desviación estándar	Variación f'c promedio
Patrón	7	M1	15.18	30.30	180.886	391.864	39959.156	220.908	220.718	3.228	
		M2	15.14	30.23	179.974	395.920	40372.754	224.326			
		M3	15.27	30.33	183.222	388.960	39663.029	216.475			
		M4	15.17	30.23	180.854	392.248	39998.313	221.163			
10% de poliestireno expandido	7	M1	15.31	30.30	184.063	320.904	32723.223	177.783	172.903	3.647	-27.65%
		M2	15.27	30.30	183.166	308.912	31500.374	171.977			
		M3	15.25	30.30	182.575	302.584	30855.096	169.000			
		M4	15.21	30.20	181.682	307.968	31404.113	172.852			
15% de poliestireno expandido	7	M1	15.23	30.23	182.168	282.056	28761.814	157.886	160.344	2.380	-37.65%
		M2	15.18	30.33	181.005	285.680	29131.361	160.942			
		M3	15.26	30.27	182.798	292.880	29865.559	163.380			
		M4	15.17	30.30	180.735	282.112	28767.525	159.169			
20% de poliestireno expandido	7	M1	15.36	30.37	185.243	282.144	28770.788	155.314	152.466	2.641	-44.77%
		M2	15.30	30.33	183.958	277.224	28269.086	153.671			
		M3	15.35	30.37	185.002	275.208	28063.510	151.693			
		M4	15.22	30.37	182.048	266.336	27158.815	149.185			
25% de poliestireno expandido	7	M1	15.21	30.27	181.706	246.416	25127.532	138.287	138.306	3.619	-59.59%
		M2	15.12	30.37	179.562	251.360	25631.682	142.746			
		M3	15.24	30.33	182.303	239.352	24407.202	133.882			
		M4	15.27	30.33	183.246	248.544	25344.529	138.309			

Tabla 44

Resultados de ensayos a compresión del concreto a edad de 14 días con adición de EPS reciclado.

Descripción	Edad (Días)	Muestra	Diámetro promedio (cm)	Altura promedio (cm)	Área (cm ²)	Carga de ruptura (KN)	Carga de ruptura (kg)	f'c máx (kg/cm ²)	f'c promedio (kg/cm ²)	Desviación estándar	Variación f'c promedio
Patrón	14	M5	15.21	30.37	181.793	450.696	45958.373	252.806	250.419	2.440	
		M6	15.21	30.27	181.682	445.880	45467.275	250.258			
		M7	15.17	30.43	180.735	445.768	45455.854	251.505			
		M8	15.23	30.33	182.056	441.176	44987.599	247.108			
10% de poliestireno expandido	14	M5	15.31	30.30	184.047	391.576	39929.788	216.955	218.811	3.820	-14.45%
		M6	15.23	30.33	182.152	400.136	40802.668	224.004			
		M7	15.21	30.43	181.769	383.544	39110.749	215.167			
		M8	15.22	30.33	181.984	391.048	39875.947	219.117			
15% de poliestireno expandido	14	M5	15.23	30.27	182.232	367.056	37429.434	205.395	204.864	4.074	-22.24%
		M6	15.24	30.30	182.303	359.144	36622.632	200.888			
		M7	15.23	30.30	182.144	375.664	38307.209	210.313			
		M8	15.31	30.37	184.167	366.376	37360.093	202.860			
20% de poliestireno expandido	14	M5	15.30	30.37	183.806	356.160	36318.348	197.590	195.201	2.931	-28.29%
		M6	15.21	30.43	181.722	349.592	35648.595	196.172			
		M7	15.23	30.20	182.272	341.271	34800.129	190.925			
		M8	15.25	30.43	182.687	351.352	35828.066	196.118			
25% de poliestireno expandido	14	M5	15.23	30.23	182.264	327.936	33440.290	183.472	181.451	4.252	-38.01%
		M6	15.29	30.30	183.726	333.240	33981.149	184.955			
		M7	15.26	30.40	182.926	326.576	33301.608	182.049			
		M8	15.36	30.37	185.275	318.552	32483.385	175.325			

Tabla 45

Resultados de ensayos a compresión del concreto a edad de 28 días con adición de EPS reciclado.

Descripción	Edad (Días)	Muestra	Diámetro promedio (cm)	Altura promedio (cm)	Área (cm ²)	Carga de ruptura (KN)	Carga de ruptura (kg)	f'c máx (kg/cm ²)	f'c promedio (kg/cm ²)	Desviación estándar	Variación f'c promedio
Patrón	28	M9	15.24	30.17	182.463	503.608	51353.915	281.448	283.590	3.909	
		M10	15.32	30.33	184.223	508.472	51849.907	281.452			
		M11	15.19	30.10	181.236	514.424	52456.844	289.439			
		M12	15.28	30.27	183.462	507.392	51739.777	282.019			
10% de poliestireno expandido	28	M9	15.32	30.20	184.327	442.400	45112.413	244.741	244.366	3.549	-16.05%
		M10	15.23	30.30	182.136	444.224	45298.410	248.707			
		M11	15.28	30.10	183.286	431.464	43997.247	240.047			
		M12	15.29	30.13	183.638	439.360	44802.418	243.971			
15% de poliestireno expandido	28	M9	15.31	30.07	184.207	409.856	41793.836	226.885	228.200	3.796	-24.27%
		M10	15.25	30.13	182.683	401.336	40925.035	224.023			
		M11	15.25	30.37	182.543	409.632	41770.994	228.828			
		M12	15.27	30.40	183.150	418.600	42685.479	233.063			
20% de poliestireno expandido	28	M9	15.23	30.27	182.256	391.776	39950.182	219.199	219.353	2.875	-29.28%
		M10	15.35	30.40	185.058	404.376	41235.029	222.822			
		M11	15.30	30.23	183.854	389.072	39674.450	215.793			
		M12	15.28	30.43	183.454	395.072	40286.282	219.599			
25% de poliestireno expandido	28	M9	15.33	30.27	184.656	364.048	37122.703	201.037	195.553	4.703	-45.02%
		M10	15.30	30.23	183.854	352.928	35988.774	195.746			
		M11	15.27	30.27	183.054	340.256	34696.585	189.543			
		M12	15.28	30.50	183.454	352.408	35935.749	195.884			

ANEXO V: FICHA TÉCNICA DEL CEMENTO PACASMAYO PORTLAND TIPO I.



CEMENTO TIPO I “ESTRUCTURAL”

DESCRIPCIÓN

Cemento Portland de uso general Tipo I. Gracias a su diseño de clinker, se logra una mejor resistencia a la compresión garantizando óptimos resultados en tu obra.

ATRIBUTOS

Altas resistencias a todas las edades

- Desarrolla altas resistencias iniciales que garantiza un adecuado avance de obra.
- El diseño correcto en concreto garantiza un menor tiempo de desencofrado.

PRESENTACIONES



*En cumplimiento de la Norma Metroológica Peruana (NMP 002:2018)

RECOMENDACIONES DE USO



Utilizar agregados y materiales de buena calidad.



A mayor sea la humedad de los agregados, se debe dosificar menor cantidad de agua.

DOSIFICACIONES RECOMENDADAS

- Las proporciones de los materiales están sujetas a la calidad de los agregados de la zona, y a la ejecución de un diseño de mezclas por un experto, pero es aceptado que con materiales aprobados para construcción se usen las siguientes proporciones.

Aplicación	Resistencia (F'c)	Cemento	Arena limpia	Piedra de tamaño máximo 19 mm	Agua
Losas aligeradas, placas y otros	175	1	2	3	0.5 (*)
Vigas y columnas	210	1	2	2	0.5 (*)

(*) El agua debe ser la suficiente para lograr una consistencia trabajable (slump de 5 a 6 pulgadas), la mezcla no debe estar muy aguada, debe poder levantarse con un badilejo sin escurrirse rápidamente.

- Para otro tipo de concreto se requiere un diseño de mezclas específico, si se usan aditivos el agua debe reducirse.
- Usar un único recipiente de medida.

RECOMENDACIONES DE ALMACENAMIENTO

- 1 Los primeros cementos que entren, deben ser los primeros en salir.
- 2 Las bolsas de cemento deben almacenarse a una distancia de 15 cms como mínimo de las paredes del almacén y 60 cms de otras pilas.
- 3 Cubrir con una capa impermeable para evitar la humedad.
- 4 Reducir tiempo de almacenamiento cuando las temperaturas sean menores a 10°C.
- 5 Revisar la bolsa de cemento antes de usarla para verificar si es que tiene grumos. En caso tenga grumos, antes de su uso tamizar la bolsa.
- 6 Colocar parihuelas de madera para evitar la humedad del suelo.
- 7 Evitar la circulación del aire entre bolsas en el apilado.





¿QUÉ ES EL ECOSACO?

Bolsa que se disgrega con la acción de la piedra en mezclas de concreto.

BENEFICIOS DE USAR ECOSACO

- El Ecosaco reducirá el riesgo de exposición al polvo del cemento al maestro ya que va directamente al trompo sin necesidad de abrir la bolsa cuando se ejecutan las mezclas de concreto.
- El Ecosaco genera cero desperdicios, con la acción de la piedra el empaque se disgrega en la mezcla de concreto.
- El Ecosaco mejora la productividad, ahorra en el tiempo de limpieza en obra y gestión de desechos de construcción.

CÓMO USAR EL ECOSACO EN 5 MINUTOS

- AGREGA** la mitad de la proporción de agua (A) y luego introduce el EcoSaco (sin abrir) directo a un trompo de al menos 340 litros.
- AÑADE** el total de los áridos: piedra (B) y arena (C) en el trompo, según el diseño de concreto.
- AJUSTA** la mezcla añadiendo el resto de la proporción de agua y asegura que toda la bolsa esté incorporada en la mezcla para lograr una correcta integración.
- MEZCLA** hasta tener un resultado homogéneo y con la fluidez buscada.

ESCALA DE EMISIONES DE CARBONO

	Factor Clinker	Emisiones
Bajo	hasta 70%	500 a 700 Kg CO2 eq
Medio	71% a 88%	701 a 800 Kg CO2 eq
Alto	89% a 100%	801 Kg CO2 eq a más

***Tipo I** se encuentra en el rango alto en emisiones de carbono según el informe de auditoría realizado por Ecoamet 2022.

*Los resultados presentados corresponden por tonelada (TN) de cemento.

CERTIFICACIÓN EN CUMPLIMIENTO DEL DECRETO SUPREMO N° 001-2022-PRODUCE

Certificación que valida el cumplimiento del **Reglamento Técnico sobre Cemento Hidráulico** utilizado en Edificaciones y Construcciones en General

Empresa Certificadora: ICONTEC, Organismo de certificación internacional reconocido por el IAF (Foro Internacional de Acreditación) con alta experiencia certificando productos y servicios en el mundo.



Cementos Pacasmayo optó por el modelo de certificación más alto y riguroso obteniendo la máxima certificación: Esquema Tipo 5.



*Tipos de esquema de certificación

Esquema Tipo 5: Certifica el proceso productivo y la comercialización, verificación del sistema de gestión de calidad en el comercializador, verificación del control de la producción en planta y verificación del sistema de gestión de calidad en planta.

CERTIFICACIONES DE LA COMPAÑÍA



También miembros de **gbc** PE



Cemento Tipo I

Cemento Portland de uso general Tipo I

Requisitos normalizados - NTP 334.009 / ASTM C150

REQUISITOS QUÍMICOS

ENSAYOS	TIPO	VALOR	UNIDAD	NORMAS DE ENSAYO	RESULTADOS*
MgO	Máximo	6.0	%	NTP 334.086	1.7
SO ₃	Máximo	3.00	%	NTP 334.086	2.82
Alcalis equivalente	-	-	%	NTP 334.086	0.8
Pérdida por ignición	Máximo	3.5	%	NTP 334.086	2.8
Residuo insoluble	Máximo	1.5	%	NTP 334.086	0.6

REQUISITOS FÍSICOS

ENSAYOS	TIPO	VALOR	UNIDAD	NORMAS DE ENSAYO	RESULTADOS*
Finura					
Superficie específica	Mínimo	2,600	cm ² /g	NTP 334.002	4100
Expansión en autoclave	Máximo	0.80	%	NTP 334.004	0.08
Contenido de aire	Máximo	12	%	NTP 334.048	7
Resistencia a la compresión					
3 días	Mínimo	12.0 (1740)	MPa (psi)	NTP 334.051	27.6 (4000)
7 días	Mínimo	19.0 (2760)	MPa (psi)	NTP 334.051	33.3 (4830)
28 días**	Mínimo	28.0 (4060)	MPa (psi)	NTP 334.051	40.5 (5870)
Tiempo de Fraguado Vicat					
Fraguado inicial	Mínimo	45	Minutos	NTP 334.006	148
Fraguado final	Máximo	375	Minutos	NTP 334.006	274
Expansión en barra de mortero curada en agua a 14 días	Máximo	0.020	%	NTP 334.093	0.008

*Valores promedios referenciales de lotes despachados / **Requisito opcional.

El cemento descrito arriba, al tiempo del envío, cumple con los requisitos físicos y químicos de la NTP 334.009 / ASTM C150



ANEXO VI: CONSTANCIA DE LABORATORIO DE MATERIALES DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA



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

El Bach. Gustavo Alexis Guevara Tamay, Exalumno de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional de Cajamarca, que se ha 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	Ensayo material más fino que pasa el tamiz 200
07	Ensayo de resistencia a la degradación, por abrasión e impacto
08	Elaboración de especímenes de concreto
09	Ensayo a compresión muestras cilíndricas

Para la Tesis Titulada: **“INFLUENCIA DE LA ADICIÓN DE POLI ESTIRENO EXPANDIDO RECICLADO EN LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN DE UN CONCRETO F’C = 210 KG/CM2 EN LA CIUDAD DE CAJAMARCA - 2024”**. Las actividades se desarrollaron del 11 de marzo al 11 de junio 2024.

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

Cajamarca, 19 de julio de 2024.

Atentamente:

c.c. a:
_Archivo

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA
FACULTAD DE INGENIERÍA

Ing. Mauro Centurión Vargas
JEFE DEL LABORATORIO ENSAYO DE MATERIALES

ANEXO VII: PANEL FOTOGRÁFICO

Figura 17

Acopio de agregados de la cantera "Aguilar"



Figura 18

Ensayo de análisis granulométrico de agregados



Figura 19

Ensayo de peso unitario suelto y compactado del agregado grueso.



Figura 20

Ensayo de peso específico y absorción de agregado grueso.



Figura 21

Ensayo de materiales más finos que pasan tamiz N°200.



Figura 22

Ensayo de resistencia a la abrasión.



Figura 23

Elaboración de probetas patrón de concreto.



Figura 24

Reciclado de poliestireno expandido



Figura 25

Tamizado de poliestireno expandido triturado.



Figura 26

Incorporación del poliestireno expandido en la mezcla de concreto.



Figura 27

Medida de asentamiento del concreto con adición de 10% de poliestireno expandido reciclado.



Figura 28

Probetas de concreto con adición de 10 y 15% de EPS reciclado.



Figura 31

Rotura de probetas de concreto patrón a edad de 7 días.



Figura 32

Fractura tipo III de probeta con adición de 10% de EPS reciclado a edad de 7 días.



Figura 33

Fractura tipo V de probeta de concreto con adición de 20% de EPS reciclado.



Figura 34

Rotura de probetas patrón a edad de 14 días.



Figura 35

Rotura de probetas de concreto con adición de 15% de EPS reciclado a edad de 14 días.



Figura 36

Fracturas tipo III y V de probetas con adición de 25% de EPS reciclado a edad de 14 días.



Figura 37

Distribución uniforme de partículas de EPS reciclado en el concreto.



Figura 38

Determinación del peso unitario de concreto en estado endurecido.



Figura 39

Rotura de probetas de concreto con adición de 25% de EPS reciclado a edad de 28 días.



Figura 40

Rotura de probeta de concreto con adición de 25% de EPS reciclado a edad de 28 días.

