



FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

PROPIEDADES DEL CONCRETO $f'c = 210 \text{ KG/CM}^2$ PARA LOSAS ALIGERADAS
CON INCLUSIÓN DE LA ESCORIA DE COBRE COMO SUSTITUTO DEL
AGREGADO FINO, MAGDALENA DEL MAR, LIMA 2025

Línea de investigación:
Construcción sostenible y sostenibilidad ambiental del territorio

Tesis para optar el Título Profesional de Ingeniero Civil

Autor

Villacorta Villarreal, Frank Renzo

Asesor

Tello Malpartida, Omart Demetrio

ORCID: 0000-0002-5043-6510

Jurado

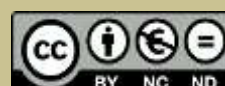
Romero Ríos, David

Jaramillo Tarazona, Francisco

Yucra Ayala, Maddeley Elizabeth

Lima - Perú

2026



PROPIEDADES DEL CONCRETO F´C= 210 KG/CM2 PARA LOSAS ALIGERADAS CON INCLUSIÓN DE LA ESCORIA DE COBRE COMO SUSTITUTO DEL AGREGADO FINO, MAGDALENA DEL MAR, LIMA 2025

INFORME DE ORIGINALIDAD

26%

INDICE DE SIMILITUD

24%

FUENTES DE INTERNET

7%

PUBLICACIONES

15%

TRABAJOS DEL
ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1

hdl.handle.net

Fuente de Internet

6%

2

repositorio.ucv.edu.pe

Fuente de Internet

2%

3

Submitted to Universidad Continental

Trabajo del estudiante

2%

4

Submitted to Universidad Andina del Cusco

Trabajo del estudiante

1%

5

repositorio.unfv.edu.pe

Fuente de Internet

1%

6

Submitted to Universidad Andina Nestor
Caceres Velasquez

Trabajo del estudiante

1%

7

Submitted to Universidad Cesar Vallejo

Trabajo del estudiante

1%

8

Submitted to Universidad Católica de Santa
María

Trabajo del estudiante

1%

9

repositorio.urp.edu.pe

Fuente de Internet

1%

10

tesis.ucsm.edu.pe

Fuente de Internet

1%



Universidad Nacional
Federico Villarreal

VRIN | VICERRECTORADO
DE INVESTIGACIÓN

FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL

**PROPIEDADES DEL CONCRETO $f'c = 210 \text{ KG/CM}^2$ PARA LOSAS ALIGERADAS
CON INCLUSIÓN DE LA ESCORIA DE COBRE COMO SUSTITUTO DEL
AGREGADO FINO, MAGDALENA DEL MAR, LIMA 2025**

Línea de investigación:

Construcción sostenible y sostenibilidad ambiental del territorio

Tesis para optar el Título Profesional de Ingeniero Civil

Autor:

Villacorta Villarreal, Frank Renzo

Asesor:

Tello Malpartida, Omart Demetrio

ORCID: 0000-0002-5043-6510

Jurado:

Romero Ríos, David

Jaramillo Tarazona, Francisco

Yucra Ayala, Maddeley Elizabeth

Lima- Perú

2026

Dedicatoria

A mi familia, por su apoyo incondicional en todo momento, por creer en mí y contribuir al logro de mi formación profesional.

A mis amistades, por su apoyo constante.

Agradecimiento

Al Dr. Tello Malpartida Omar Demetrio,
por su tiempo y constante asesoría para el
logro de esta investigación.

I ÍNDICE

RESUMEN	11
ABSTRACT	12
I. INTRODUCCIÓN.....	13
1.1 Descripción y formulación del problema	13
<i>1.1.1 Problema general</i>	<i>14</i>
<i>1.1.2 Problemas específicos</i>	<i>14</i>
1.2 Antecedentes.....	14
1.3 Objetivos.....	19
<i>1.3.1 Objetivo general.....</i>	<i>19</i>
<i>1.3.2 Objetivos específicos.....</i>	<i>19</i>
1.4 Justificación	19
1.5 Hipótesis	20
<i>1.5.1 Hipótesis general</i>	<i>20</i>
<i>1.5.2 Hipótesis específicas.....</i>	<i>20</i>
II. MARCO TEÓRICO	21
2.1 Bases teóricas sobre el tema de investigación.....	21
<i>2.1.1 Descripción.....</i>	<i>21</i>
<i>2.1.2 Componentes de la escoria de cobre.....</i>	<i>21</i>
<i>2.1.3 Obtención de escoria de cobre</i>	<i>22</i>
<i>2.1.4 Clasificación de escoria de cobre.....</i>	<i>23</i>
<i>2.1.5 Productores de escoria de cobre</i>	<i>24</i>
<i>2.1.6 Aplicaciones de la escoria</i>	<i>25</i>
<i>2.1.7 Efecto ambiental</i>	<i>26</i>
2.2 El concreto	26

2.2.1 Componentes del concreto	27
2.2.2 Propiedades del concreto	29
2.2.3 Losa aligerada	33
2.3 Métodos de diseño de mezcla de concreto	35
2.3.1 Método ACI.....	35
2.3.2 Método del módulo de fineza de la combinación de agregados.....	35
2.3.3 Método Walker.....	36
2.4 Normas internacionales	36
2.4.1 Chile.....	36
2.4.2 Japón.....	37
2.4.3 Europa.....	37
III. MÉTODO	38
3.1 Tipo de investigación.....	38
3.1.1 Enfoque de la investigación.....	38
3.1.2 Propósito de la investigación.....	38
3.1.3 Nivel de investigación.....	39
3.1.4 Diseño de investigación	39
3.2 Ámbito temporal y espacial.....	39
3.2.1 Ámbito temporal.....	39
3.2.2 Ámbito espacial.....	39
3.3 Variables	40
3.3.1 Variable independiente	40
3.3.2 Variable dependiente	40
3.4 Población y muestra.....	40
3.4.1 Población.....	40

3.4.2 <i>Muestra</i>	40
3.5 Instrumentos	43
3.5.1 <i>Validación de instrumento</i>	44
3.6 Procedimientos	44
3.6.1 <i>Etapa 1 - recolección de materiales</i>	45
3.6.2 <i>Etapa 2 - recepción de la escoria de cobre</i>	46
3.6.3 <i>Etapa 3. caracterización de los materiales</i>	46
3.6.4 <i>Etapa 4. diseño de mezcla</i>	66
3.6.5 <i>Etapa 5. habilitación de moldes para elaborar los especímenes.</i>	76
3.6.6 <i>Etapa 6 - elaboración de especímenes</i>	77
3.6.7 <i>Etapa 7 - ensayos de concreto fresco</i>	78
3.6.8 <i>Etapa 8 - elaboración de especímenes cilíndricas y vigas prismáticas</i>	81
3.6.9 <i>Etapa 9 - desencofrado</i>	83
3.6.10 <i>Etapa 10 – curado y fraguado</i>	84
3.6.11 <i>Etapa 11- ensayo de concreto endurecido:</i>	85
3.7 Análisis de datos	93
IV. RESULTADOS.....	94
V. DISCUSIÓN DE RESULTADOS	101
VI. CONCLUSIONES	104
VII. RECOMENDACIONES.....	106
VIII. REFERENCIAS	107
IX. ANEXOS	112

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Ensayo a compresión – cantidad de probetas cilíndricas.....	41
Tabla 2 Ensayo a flexión – cantidad de moldes de viga	42
Tabla 3 Ensayo de peso unitario– cantidad de ensayos	42
Tabla 4 Ensayo de permeabilidad– cantidad de ensayos	43
Tabla 5 Especificaciones técnicas de los materiales.....	45
Tabla 6 Análisis granulométrico – escoria de cobre	47
Tabla 7 Análisis granulométrico – arena gruesa.....	48
Tabla 8 Análisis granulométrico – Agregado grueso	50
Tabla 9 Contenido de humedad del agregado fino (escoria de cobre).....	52
Tabla 10 Contenido de humedad del agregado fino (arena gruesa).....	53
Tabla 11 Contenido de humedad del agregado grueso	54
Tabla 12 Peso específico y absorción de la escoria de cobre:	56
Tabla 13 Peso específico y absorción de la arena gruesa:	57
Tabla 14 Peso específico y absorción del agregado grueso:	58
Tabla 15 Peso unitario suelto-escoria de cobre.....	60
Tabla 16 Peso unitario varillado-escoria de cobre.....	61
Tabla 17 Peso unitario suelto- arena gruesa	62
Tabla 18 Peso unitario varillado-arena gruesa	63
Tabla 19 Peso unitario suelto-agregado grueso	64
Tabla 20 Peso unitario varillado – agregado grueso	65
Tabla 21 Caracterización de los materiales	66
Tabla 22 Resistencia de la compresión promedio.....	67
Tabla 23 Niveles de asentamiento de acuerdo al tipo de estructura	69
Tabla 24 Clasificación por consistencia	69

Tabla 25 Tabla para el cálculo del contenido de aire atrapado	70
Tabla 26 Tabla para calcular la cantidad de agua	71
Tabla 27 Tabla de relación agua cemento.....	71
Tabla 28 Cálculo de volumen de agregado	73
Tabla 29 Peso unitario	81
Tabla 30 Resistencia a la compresión a los 7 días	86
Tabla 31 Resistencia a la compresión a los 28 días	87
Tabla 32 Resistencia a la flexión por diseño a la edad de 7 días	89
Tabla 33 Resistencia a la flexión por diseño a la edad de 28 días	90
Tabla 34 Coeficiente de permeabilidad	92
Tabla 35 Coeficiente de permeabilidad a la edad de 28 días	94
Tabla 36 Peso unitario	95
Tabla 37 Resistencia a la compresión a los 7 y 28 días	96
Tabla 38 Resistencia a la flexión a los 7 y 28 días	98
Tabla 39 Correlación entre resistencia a compresión con la resistencia a flexión N°1	99
Tabla 40 Correlación entre resistencia a compresión con la resistencia a flexión N°2	99

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Permeámetro.....	30
Figura 2 Tamiz ¼”	46
Figura 3 Curva granulométrica - escoria de cobre.....	47
Figura 4 Granulometría de la escoria de cobre	48
Figura 5 Curva granulométrica - arena gruesa.....	49
Figura 6 Granulometría de la arena gruesa	49
Figura 7 Curva granulométrica-agregado grueso	50
Figura 8 Granulometría del agregado grueso.....	51
Figura 9 Escoria de cobre en el horno	52
Figura 10 Arena gruesa en el horno	53
Figura 11 Agregado grueso en el horno.....	54
Figura 12 Fiola con muestra de la escoria de cobre.....	57
Figura 13 Fiola con muestra de la arena gruesa.....	58
Figura 14 Agregado grueso sumergido.....	59
Figura 15 Ensayo del peso unitario suelto de la escoria de cobre	61
Figura 16 Ensayo del peso unitario varillado de la escoria de cobre.....	62
Figura 17 Ensayo del peso unitario suelto de la arena gruesa	63
Figura 18 Ensayo del peso unitario varillado de la arena gruesa.....	64
Figura 19 Ensayo del peso unitario varillado de la arena gruesa.....	65
Figura 20 Ensayo del peso unitario varillado del agregado grueso	66
Figura 21 Moldes de encofrado para probetas cilíndricas y tipo vigas.....	77
Figura 22 Materiales habilitados para iniciar la mezcla	78
Figura 23 Mezcla de concreto.....	78
Figura 24 Verificación del slump	79
Figura 25 Ensayo del peso unitario.....	80

Figura 26	Peso unitario	81
Figura 27	Colocación de la mezcla en moldes.....	82
Figura 28	Compactación con la varilla	82
Figura 29	Colocación de la mezcla en moldes de vigas	83
Figura 30	Desenfrado de moldes.....	84
Figura 31	Curado de probetas	85
Figura 32	Ensayo de resistencia a compresión	86
Figura 33	Resistencia a la compresión a los 7 días.....	87
Figura 34	Resistencia a la compresión a los 28 días.....	88
Figura 35	Ensayo de resistencia a flexión.....	89
Figura 36	Resistencia a la flexión a los 7 días	90
Figura 37	Resistencia a la flexión a los 28 días	91
Figura 38	Permeámetro.....	92
Figura 39	Coefficiente de permeabilidad	93
Figura 40	Coefficiente de permeabilidad a la edad de 28 días.....	94
Figura 41	Peso unitario	95
Figura 42	Resistencia a la compresión a los 7 y 28 días.....	97
Figura 43	Resistencia a la flexión a los 7 y 28 días	98

RESUMEN

Objetivo: Determinar cómo la inclusión de la escoria de cobre como sustituto del agregado fino influye en las propiedades del concreto $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ para losas aligeradas. **Método:** El tipo de investigación fue aplicativo, nivel explicativo y diseño cuasiexperimental. La población estuvo conformada por la producción del concreto $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ con escoria de cobre, y la muestra estuvo constituido por 36 unidades de especímenes de probetas cilíndricas y 24 unidades de vigas prismáticas. **Resultados:** Para la permeabilidad, el mejor resultado se obtuvo con la dosificación E20% (20% de escoria de cobre), presentando un aumento del 6.60 % respecto al patrón. En el caso del peso unitario, el mejor resultado es con la dosificación E20% (20% de escoria de cobre), aumentando un 1.46% respecto al patrón. Para la resistencia a la compresión, el mejor resultado es con la dosificación E40% (40% de escoria de cobre) incrementando un 21.25% respecto al patrón. Para la resistencia a la flexión, el mejor resultado es con la dosificación E20% (20% de escoria de cobre), incrementando un 17.78% respecto al patrón. **Conclusiones:** Se determinó que la utilización de escoria de cobre como sustituto del agregado fino influye de manera positiva sobre las propiedades mecánicas del concreto, evidenciándose un incremento tanto en la resistencia a la compresión como en la resistencia a la flexión con la dosificación E20 %. Asimismo, se concluyó que dicha incorporación no afecta sustancialmente en las propiedades físicas.

Palabras clave: permeabilidad, peso unitario, resistencia a la compresión, resistencia a la flexión.

ABSTRACT

Objective: Of this research was to determine how the inclusion of copper slag as a substitute for fine aggregate influences the properties of concrete $f'_c = 210 \text{ kg/cm}^2$ for lightweight slabs.

Method: The type of research was applied, explanatory, and quasi-experimental in design. The population consisted of the production of concrete $f'_c = 210 \text{ kg/cm}^2$ with copper slag, and the sample consisted of 36 units of cylindrical test specimens and 24 units of prismatic beams.

Results: For permeability, the best result was obtained with the E20% dosage (20% copper slag), increasing by 6.60% compared to the standard. In the case of unit weight, the best result was obtained with the E20% dosage (20% copper slag), increasing by 1.46% compared to the standard. For compressive strength, the best result was obtained with the E40% dosage (40% copper slag), increasing by 21.25% compared to the standard. In the case of flexural strength, the best result is with the E20% dosage (20% copper slag), increasing by 17.78% compared to the standard. **Conclusion:** It was determined that the use of copper slag as a substitute for fine aggregate has a positive influence on the mechanical properties of concrete, showing an increase in both compressive strength and flexural strength with the E20% mix. Likewise, it was concluded that such incorporation does not substantially affect the physical properties.

Keywords: permeability, unit weight, compressive strength, flexural strength.

I. INTRODUCCIÓN

1.1 Descripción y formulación del problema

En el contexto peruano, la escoria de cobre, considerada un residuo derivado de la actividad minera, no es aprovechada de manera adecuada. El proceso de producción de cobre genera entre 2.2 y 3 toneladas de escoria por cada tonelada, residuo cuya composición está dominada por elementos como silicio, aluminio, óxidos de hierro y calcio (Dávila et al., 2004), generalmente estos terminan en un botadero de la propia empresa minera generando un impacto ambiental, dado que almacenar estos desechos ocasionan el deterioro de la flora y fauna circundante.

En la producción mundial de cobre, el Perú se posiciona actualmente en el segundo lugar, siendo superado únicamente por Chile, mientras que China y el Congo se ubican en posiciones posteriores. Asimismo, dentro del ranking de las 30 minas de cobre más grandes del mundo, el país cuenta con siete operaciones mineras de relevancia internacional: Antamina, Cerro Verde, Las Bambas, Toromocho, Toquepala, Antapaccay y Cuajone.

De acuerdo con Castro (2023), las proyecciones de inversión vinculadas a ampliaciones y al desarrollo de nuevos proyectos permitirían que, hacia el año 2026, la producción de cobre en el Perú alcance aproximadamente 2.8 millones de toneladas; asimismo, se señala que para el año 2030 el país cuenta con el potencial necesario para llegar a una producción de 5 millones de toneladas, establecida como un objetivo nacional.

Los siguientes datos nos indican que al 2026 se tendría aproximadamente de 6 a 8.4 millones toneladas de escoria de cobre y al 2030 de 11 a 15 millones toneladas de escoria de cobre, estos indicadores son preocupantes ya que las mineras necesitarían mayor área para poder almacenar dichos residuos.

Además, entre los antecedentes investigados, no hay similitud entre los porcentajes de los valores óptimos del reemplazo del agregado fino mediante el uso de escoria de cobre, Bhoi

et al. (2018), señala que el nivel de reemplazo más eficiente corresponde a una sustitución del 60 %, mientras que según Quispe y Ortiz (2020) se concluyó que reemplazando el 20% se evidenció una mejora de las propiedades del concreto luego de 28 días de curado.

1.1.1 Problema general

¿Cómo la inclusión de la escoria de cobre como sustituto del agregado fino influye en las propiedades del concreto $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ para losas aligeradas, Magdalena del Mar, Lima 2025?

1.1.2 Problemas específicos

-Pe1: ¿De qué manera la inclusión de la escoria de cobre como sustituto del agregado fino influye en la permeabilidad del concreto $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ para losas aligeradas, Magdalena del Mar, Lima 2025?

-Pe2: ¿De qué forma la inclusión de la escoria de cobre como sustituto del agregado fino influye en el peso unitario del concreto $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ para losas aligeradas, Magdalena del Mar, Lima 2025?

-Pe3: ¿Cómo la inclusión de la escoria de cobre como sustituto del agregado fino influye en la resistencia a la compresión del concreto $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ para losas aligeradas, Magdalena del Mar, Lima 2025?

-Pe4: ¿En qué medida la inclusión de la escoria de cobre como sustituto del agregado fino influye en la resistencia a la flexión del concreto $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ para losas aligeradas, Magdalena del Mar, Lima 2025?

1.2 Antecedentes

De acuerdo con Bhoi et al. (2018), el porcentaje que presenta el mejor desempeño en términos de sustitución es aquel que alcanza el 60%. Para tal fin, se evaluaron distintas propiedades, tales como la trabajabilidad, densidad, la resistencia a la tracción indirecta, flexión y compresión. Al incrementar paulatinamente la proporción de escoria de cobre, el concreto

mostró una metamorfosis casi uniforme en su peso; además, al sustituir el 60 % del agregado fino por este material, se logró un incremento del 26,79 % en su resistencia a la compresión en comparación con el concreto convencional con una relación a/c de 0.40.

Según Herrera (2018), la investigación tuvo como finalidad emplear la escoria de cobre como material sustituto de la arena en la elaboración de ladrillos de hormigón, con el propósito de disminuir la acumulación de escoriales generados por la actividad minera y mitigar su impacto como residuos de gran volumen. Se buscó obtener el porcentaje de escoria de cobre que en conjunto con la arena sean reconocidos como agregado fino, la norma NCH indica que la densidad del agregado debe ser menor o igual a 3g/cm^3 , por lo que según los cálculos que se realizó, se determinó que las proporciones óptimas corresponden a 77.10% de escoria y 22.9% de arena gruesa para un concreto con resistencia H20 (200 kg/cm^2), de acuerdo con la norma NCH 163. Al aplicar una proporción de agua/cemento de 0.53, la resistencia a la compresión experimentó una elevación del 12 % en comparación con el concreto tradicional.

Según Baldoceda y Vega (2019), tuvo como objetivo principal obtener una densidad mayor a 2700 kg/cm^3 , mejorar la resistencia del concreto y la atenuación de radiaciones ionizantes. Asimismo, se realizó la sustitución de escoria de cobre por el agregado fino en porcentajes de 15%, 30% ,50%,80% y 100%. Se concluyó que con un 80% de escoria de cobre se obtuvo la mayor densidad. Con respecto a la compresión se incrementa se obtuvo un aumento del 30% con respecto al patrón con la sustitución del 30%, ya que a partir de ese punto las resistencias se disminuyen gradualmente.

Flores y Fuentes (2021), iniciaron una investigación para resolver cómo la adición de escoria de cobre afecta la resistencia a la compresión del concreto. Para el estudio de laboratorio, se evaluaron dosis de escoria de cobre del 10 %, 20 % y 30 %. Con una resistencia de 269.2 kg/cm^2 se obtuvo la dosificación que incorporó un 20 %; asimismo, el mayor desempeño se registró con un contenido del 30 %, siendo capaz de resistir 272.5 kg/cm^2 , se

logró un aumento del 14.5 % en comparación con el concreto tradicional, equivalente a un aumento del 13.1 %, mientras que la incorporación del 10 % registró una resistencia de 236.8 kg/cm², reflejando una disminución del 0.5 % frente al concreto de referencia. De acuerdo con estos hallazgos, se calcula que la mezcla del 30% de escoria de cobre ofrece una resistencia a la compresión superior, con una relación agua/cemento de 0.52, superando al concreto tradicional.

Hanco (2021), a través de la sustitución parcial del cemento Portland tipo IP por escorias de fundición de cobre (EFC), emprendió un estudio para desentrañar cómo los adoquines se comportan ante la compresión y la absorción. Para ello, se consideraron porcentajes de reemplazo del 10 %, 15 % y 20 %, empleando relaciones agua/cemento de 0.45 y 0.50, y los resultados fueron comparados tanto con adoquines elaborados únicamente con cemento Portland como con adoquines comerciales de la marca UNICON. Con una proporción de agua/cemento de 0.45, la mezcla que incorporaba un 20 % de escorias de fundición de cobre en lugar del cemento mostró una resistencia a la compresión superior, alcanzando un aumento del 2.98 % respecto al concreto tradicional y un 49.28 % respecto a los adoquines comerciales. Asimismo, los resultados de absorción correspondientes a ambas relaciones agua/cemento se mantuvieron dentro de los rangos permitidos por la norma NTP 399.611.

Según Aparicio (2014), la investigación tuvo como finalidad determinar las proporciones óptimas que permitan maximizar la resistencia a la compresión del concreto, para lo cual se desarrollaron 15 combinaciones distintas entre escoria de cobre y agregados convencionales, considerando el volumen total de los agregados. A través de pruebas de compresión, se examinaron moldes de concreto diseñados para resistir 28 MPa y tener una proporción agua/cemento de 0.45. Se descubre que la combinación de un 20% de escoria de cobre, un 30% de agregado fino y un 50% de agregado grueso reveló una disminución del 2 % en su resistencia a la compresión en comparación con el concreto patrón. Sin embargo, a pesar

de esto, el concreto tradicional persiste con su formidable resistencia a la compresión, esta variación no resultó significativa, por lo que se recomienda no superar el 20 % de sustitución de los agregados convencionales. Asimismo, se concluyó que este material alternativo es viable para su aplicación en elementos estructurales tales como columnas, zapatas y vigas.

De acuerdo con Tejada et al. (2019), el estudio buscó desentrañar la viabilidad técnica de incorporar escoria de cobre en la creación del concreto. En medidas del 10 %, 20 % y 30 %, la arena fue sustituida parcialmente por escoria de cobre. Se descubrió que la mezcla más efectiva fue la compuesta por un 20 % de escoria de cobre y un 80 % de agregado fino, según los parámetros volumétricos. Al Adoptar un esquema de concreto con una resistencia de 210 kg/cm² y un equilibrio agua/cemento de 0.62, se alcanzó una resistencia a la compresión de 404 kg/cm², un aumento del 78,76 % en comparación con el concreto patrón.

Quispe y Ortiz (2020), se enfocaron en introducir la escoria de cobre para reemplazar al agregado fino en grados de 10 %, 15 %, 20 %, 25 % y 30 %, empleando materiales de Arequipa e Ilo. Los hallazgos revelaron que sustituir el 20 % de arena por escoria de cobre provocó una notable mejora en la resistencia a la compresión, con incrementos del 23.10 % con los agregados de Arequipa y del 26.83 % en los de Ilo, en comparación con el concreto convencional. Asimismo, al emplear un 30 % de escoria de cobre como sustituto del agregado fino, se obtuvieron los valores máximos de peso unitario, alcanzando 2431.16 kg/m³ para Arequipa y 2429.47 kg/m³ para Ilo, lo que representó incrementos del 2.97 % y 2.42 %, respectivamente, respecto al concreto convencional. A diferencia del concreto tradicional, se verificará que la resistencia a la flexión se incrementó al aplicar una mezcla del 10 % de escoria de cobre, alcanzando mejoras del 13.89 % para los agregados de Arequipa y del 8.78 % para los de Ilo.

Cruz (2014), planteó como objetivo abordar los efectos que tiene la incorporación de la escoria de cobre, en lugar del residuo fino y así moldea la conducta del hormigón, ya sea en su

estado fresco o endurecida. Lo que se revela que, tras 7 días de curación, las resistencias a compresión permanecieron prácticamente inalteradas en todas las mezclas; sin embargo, al incorporar un 20 % de escoria de cobre, se notará un incremento del 2,30 % en comparación con el concreto convencional. Este comportamiento similar a edades tempranas se atribuye al empleo de cementos con alta resistencia inicial. Asimismo, en edades de curado más avanzadas, particularmente a los 90 y 150 días, el descubrimiento reveló que sustituir por escoria de cobre completamente el agregado fino provocó un aumento en la resistencia a la compresión del 15.8 % y 24.40 %, en comparación con el concreto convencional. Este fenómeno se debe a la acción puzolánica de la escoria de cobre, la cual fomenta una mayor compactación y densificación del material.

Antaurco (2019), realizó una investigación para incorporar la escoria de cobre, en concentraciones de 25 %, 50 % y 100 %, sustituyendo el 10 % del agregado fino en la fabricación de concreto permeable para una pavimentación rígida. Se revelaron que las mezclas con escoria de cobre en sustitución del 50 % y 100 % mostraron incrementos en la resistencia del 0.70 % y 2.93 %, respectivamente, mientras que la combinación con una sustitución del 25 % reveló una disminución del 4,10 % en comparación con el concreto tradicional. Con el incremento progresivo de la escoria de cobre, el coeficiente de permeabilidad se eleva gradualmente alcanzando su máximo con una sustitución total del 100 %, registrando una permeabilidad de 0.48 cm/s, lo que representa un incremento del 16.50 % en comparación con el concreto tradicional.

Ocaña y Rodríguez (2023), se dedicaron a analizar la repercusión físico-mecánicos de adicionar fibra de acero molido y escoria de cobre de un concreto permeable para pavimento rígido, centrándose en ver cómo pueden transformar las características. Para llevar a cabo la investigación, se evaluaron porcentajes del 3 %, 5 % y 7 % de ambos materiales. Con un incremento del 49 % en comparación con el concreto convencional, se alcanzó una

permeabilidad de 1.40 cm/s mediante una combinación del 7% de fibra de acero molido y 7% de escoria de cobre.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo general

Determinar como la inclusión de la escoria de cobre como sustituto del agregado fino influye en las propiedades del concreto $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ para losas aligeradas, Magdalena del Mar, Lima 2025.

1.3.2 Objetivos específicos

- Oe1: Evaluar de qué manera la inclusión de la escoria de cobre como sustituto del agregado fino influye en la permeabilidad del concreto $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ para losas aligeradas, Magdalena del Mar, Lima 2025.

- Oe2: Comprobar de que forma la inclusión de la escoria de cobre como sustituto del agregado fino influye en el peso unitario del concreto $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ para losas aligeradas, Magdalena del Mar, Lima 2025.

- Oe3: Analizar como la inclusión de la escoria de cobre como sustituto del agregado fino influye en la resistencia a la compresión del concreto $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ para losas aligeradas, Magdalena del Mar, Lima 2025.

- Oe4: Estimar en qué medida la inclusión de la escoria de cobre como sustituto del agregado fino influye en la resistencia a la flexión del concreto $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ para losas aligeradas, Magdalena del Mar, Lima 2025.

1.4 Justificación

Hay precedentes favorables sobre la integración de escoria de cobre en el concreto, pues múltiples investigaciones han revelado que este material potencia las características del concreto tradicional. El uso de este material genera sostenibilidad en el territorio peruano. Además, en la actualidad existe gran cantidad de escoria de cobre almacenados en los botaderos

de las mineras ocupando áreas en las que ya no tendrán otros usos y también, para desentrañar las discrepancias en los porcentajes ideales de sustitución de la escoria de cobre por el agregado fino, se llevará a cabo esta investigación.

1.5 Hipótesis

1.5.1 Hipótesis general

La inclusión de la escoria de cobre como sustituto del agregado fino influye positivamente en las propiedades del concreto $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ para losas aligeradas, Magdalena del Mar, Lima 2025.

1.5.2 Hipótesis específicas

-He1: La inclusión de la escoria de cobre como sustituto del agregado fino influye sustancialmente en la permeabilidad en del concreto $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ para losas aligeradas, Magdalena del Mar, Lima 2025.

-He2: La inclusión de la escoria de cobre como sustituto del agregado fino influye considerablemente en el peso unitario del concreto $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ para losas aligeradas, Magdalena del Mar, Lima 2025.

-He3: La inclusión de la escoria de cobre como sustituto del agregado fino influye apreciablemente en la resistencia a la compresión del concreto $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ para losas aligeradas, Magdalena del Mar, Lima 2025.

-He4: La inclusión de la escoria de cobre como sustituto del agregado fino influye esencialmente en la resistencia a la flexión del concreto $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ para losas aligeradas, Magdalena del Mar, Lima 2025.

II. MARCO TEÓRICO

2.1 Bases teóricas sobre el tema de investigación

2.1.1 Descripción

Según Aparicio (2014), el uso de escoria de cobre en mezclas de concreto cuenta con sustento experimental a partir de ensayos de laboratorio, los cuales demuestran que los residuos sólidos generados por la industria del cobre pueden emplearse como un agregado fino no convencional. Al combinarse con los agregados tradicionales, estos residuos permiten la formación de un material compuesto alternativo que presenta propiedades mecánicas adecuadas, lo que posibilita su aplicación en la producción de concreto.

2.1.1.1. Escoria de cobre. Se trata de un residuo de gran volumen generado durante el proceso de fundición del cobre en las operaciones mineras, el cual es separado de la mata para su disposición final. Este material presenta una tonalidad oscura como resultado de las reacciones químicas propias del proceso metalúrgico. Dentro de las múltiples aplicaciones que presenta la escoria de cobre, se destaca su empleo como materia prima en la producción de cemento, como agregado en la elaboración de concreto y en la producción de materiales para aislamiento térmico (Kruger, 1995). Asimismo, las escorias de alto horno pueden ser sometidas a procesos de molienda y clasificación granulométrica para ser empleadas como agregado fino o, en su defecto, fragmentadas para su utilización como agregado grueso (Tejada et al., 2019).

2.1.2 Componentes de la escoria de cobre

2.1.2.1. Composición química. Como resultado de los estudios desarrollados sobre la escoria de cobre, se han determinado los principales óxidos que integran su composición, los cuales se presentan a continuación:

- Óxido de hierro (como FeO , Fe_3O_4) De 30 a 40%: Aporta resistencia, flexibilidad y ductilidad.
- Óxido de Sílice (SiO_2) De 10% a 20%: Aporta resistencia al desgaste y dureza.

- Oxido de Aluminio (Al_2O_3) Hasta 10%: Aporta al aislamiento acústico, resistencia al fuego y acelerante del fraguado inicial.

- Oxido de Calcio (CaO) Hasta 20%: Acelera la velocidad del curado y fraguado.

Nota. Adaptado de *Uso de escoria de cobre en cementos* (p. 12), por S. A. Orizola Gómez, 2006, Universidad de Chile.

2.1.2.2. Composición física. Desde el punto de vista físico, la escoria puede presentar distintas configuraciones estructurales asociadas a la presencia de fases vítreas y cristalinas. La fase vítrea está vinculada al comportamiento hidráulico activo del material, mientras que la fase cristalina se considera principalmente inerte (Puertas, 1993). De acuerdo con Amaral (1999), esta característica resulta favorable para el incremento de la resistencia a la compresión en la fabricación de hormigones que incorporan escorias.

2.1.3 Obtención de escoria de cobre

En la mayoría de las fundiciones, la formación de la escoria se inicia con la extracción de minerales sulfurados. El material obtenido es sometido a procesos de chancado y molienda, para luego ser concentrado mediante flotación en el concentrador. Posteriormente, el concentrado es filtrado y secado hasta alcanzar aproximadamente un 8 % de humedad, tras lo cual es introducido en el horno de reverbero. En esta etapa se genera la mata, compuesta principalmente por sulfuros de cobre y hierro, con un contenido aproximado de 50 % de cobre, y de manera paralela se produce escoria de cobre como subproducto, la cual es destinada al botadero.

La mata o eje se extrae por la parte inferior del horno de reverbero y se traslada a los hornos convertidores para continuar con el proceso pirometalúrgico. De acuerdo con el Portal Minero Ediciones (2006), tanto la canaleta que transporta la escoria hacia el horno eléctrico como aquella que conduce el metal blanco a la etapa de granallado se encuentran

completamente confinadas, lo que permite la captación total de los gases generados durante el proceso.

Como resultado del convertidor se obtiene el denominado metal blanco, el cual posee cerca del 75 % de contenido de cobre y es enviado al convertidor convencional. Paralelamente, se genera escoria del convertidor, que, debido a su elevado contenido de cobre, cercano al 8 %, es recirculada hacia el horno de reverbero o al horno de limpieza de escoria. Finalmente, en este último se obtiene una mata enriquecida con aproximadamente 70 % de cobre, la cual retorna al convertidor, mientras que la escoria residual, con un contenido cercano al 0.8 % de cobre, es dispuesta definitivamente en el botadero.

2.1.4 Clasificación de escoria de cobre

2.1.4.1. Escoria granallada. Este tipo de escoria se obtiene cuando el material es sometido a un proceso de solidificación rápida, pasando del estado líquido al sólido en un periodo muy corto de tiempo. Para ello, se emplean diversos métodos, entre los cuales destaca el vertido de la escoria fundida en un pozo de granallado que contiene agua en cantidad constante, la cual se renueva según el grado de granulación requerido. En este medio se produce un enfriamiento casi inmediato, haciendo que la escoria reduzca su temperatura desde aproximadamente 1150 °C hasta valores inferiores a 100 °C. Una vez completado el proceso de granulación, el agua es separada del material sólido y la escoria resultante es trasladada a áreas de acopio. Durante este procedimiento no se generan transformaciones químicas que modifiquen la composición original de la escoria; únicamente se producen cambios de carácter físico y mecánico asociados a la transición del estado líquido a partículas sólidas. Como resultado, se obtiene un material cuya estructura es predominantemente amorfa o vítrea, lo que le confiere a la escoria de cobre una menor masa por unidad de volumen (Herrera, 2018).

2.1.4.2. Escoria de botadero. Este tipo de escoria se genera mediante un proceso de enfriamiento gradual que se realiza directamente en el área de disposición final, donde el

material reduce su temperatura de forma progresiva hasta alcanzar la temperatura ambiente. Este tratamiento favorece la cristalización de la escoria, lo que ocasiona una disminución de su porosidad y, en cierta medida, limita su capacidad de reacción en etapas posteriores. Como consecuencia de estas características, la escoria obtenida presenta menores valores de absorción de agua y una mayor densidad en comparación con la escoria granallada (Herrera, 2018).

2.1.4.3. Escoria expandida. Este tipo de escoria se produce mediante la aplicación controlada de agua, aire y vapor, lo que provoca una solidificación rápida que incrementa su nivel de porosidad. Como resultado, se obtiene un material de menor peso específico, el cual posteriormente es sometido a procesos de trituración con el fin de mejorar sus propiedades y otorgarle un mayor valor de aprovechamiento (Herrera, 2018).

2.1.5 Productores de escoria de cobre

2.1.5.1. Chile. Según la Sociedad Nacional de Minería, Petróleo y Energía [SNMPE] (2018), Chile lidera la producción de cobre con el 28% a nivel mundial produciendo 5.3 millones de toneladas de cobre produciendo aproximadamente 11.6 toneladas de escoria por año. Las mineras más importantes son Codelco, Escondida, Collahuasi, Los Pelambres, Anglo American Sur, entre otros (Comisión Chilena del Cobre, 2022)

2.1.5.2. Perú. Según la Sociedad Nacional de Minería, Petróleo y Energía [SNMPE] (2018), Perú es el segundo país que lidera la producción de cobre con el 12% a nivel mundial produciendo 2.2 millones de toneladas de cobre por año generando un aproximado de 4.8 toneladas de escoria de cobre (Ministerio de Energía y Minas [MINEM], 2022). Las mineras más importantes son Cerro Verde, Antamina, Las Bambas, Southern Copper, entre otros.

2.1.5.3. China. Según la Sociedad Nacional de Minería, Petróleo y Energía [SNMPE] (2018), China es el tercer país que lidera la producción de cobre con el 8% a nivel mundial produciendo aproximadamente 1.9 millones de toneladas de cobre por año generando un

aproximado de 3.7 toneladas de escoria de cobre (U.S. Geological Survey, 2022). Las mineras más importantes son Jiangxi Copper, China Molybdenum, Zijin Mining Group, entre otros.

2.1.6 Aplicaciones de la escoria

A nivel internacional, la escoria de cobre es aprovechada en distintos sectores productivos debido a su versatilidad, empleándose como reemplazo parcial del cemento hidráulico, como material granular en infraestructuras ferroviarias, y como agregado en mezclas asfálticas utilizadas en obras viales. En múltiples sectores industriales, la escoria de cobre se emplea en la creación de bloques moldeados, en la elaboración de vidrio y como abrasivo para la limpieza de estructuras metálicas con chorro de arena; además, se incorpora como agregado en la creación de morteros y concreto (Baldoceda y Vega, 2019).

2.1.6.1. Uso como aditivo en la producción del cemento. A Lorient se le reconoce como el primero en mencionar el carácter hidráulico de una escoria en el año 1774. Posteriormente, en 1865, en Alemania se introdujo un ligante hidráulico elaborado a partir de una mezcla de cal y espuma. Más adelante, en 1882, también en Alemania, Prussing impulsó la producción industrial del cemento Portland con adición de escoria. Aunque entre 1880 y 1890 las propiedades de este material comenzaron a ser mejor comprendidas, su incorporación enfrentó una notable resistencia tanto en el ámbito técnico como por parte de los fabricantes de cemento (Coutinho, 1997, como se citó en Tejada et al., 2019). La capacidad de la escoria de alto horno para actuar como aditivo se sustenta principalmente en su reactividad, la cual está condicionada por su composición química, el contenido de fase vítrea y el grado de finura del material (Tejada et al., 2019).

2.1.6.2. Uso como agregado. Las escorias de alto horno pueden ser sometidas a procesos de trituración y clasificación granulométrica para su utilización como agregado fino, o bien fragmentadas para emplearse como agregado grueso. En naciones como Francia, la escoria de alto horno se emplea como aditivo en la renovación de los cimientos de las carreteras

y autopistas, mezclando con agregados naturales en que oscilan entre un 5 % y un 20 % de granulado, y agregando un 1 % de cal (Tejada et al., 2019).

2.1.7 Efecto ambiental

Según Wang et al. (2020), los estudios ambientales muestran que la escoria de cobre presenta inicialmente un riesgo debido al cobre, superando los límites establecidos por la norma EPA 1311, por lo que se clasifica como residuo peligroso en su estado original. Sin embargo, cuando la escoria es incorporada en morteros o concreto, los metales quedan encapsulados, reduciéndose los lixiviados a niveles muy por debajo de los límites normativos, demostrando que el proceso de estabilización es efectivo.

Adicionalmente, las evaluaciones ambientales con la norma EN 12457-2 indican que la escoria granulada puede clasificarse como material inerte, mientras que la escoria fina se considera no peligrosa.

En conclusión, aunque la escoria de cobre pura puede representar un peligro ambiental por su composición química y su capacidad inicial de liberar metales pesados, los estudios confirman que, al ser utilizada dentro de mezclas de mortero o concreto, no genera contaminación ambiental considerable, permitiendo su uso seguro como material puzolánico y como sustituto de agregado fino.

2.2 El concreto

Según Sánchez de Guzmán (2001), el concreto es un material ampliamente versátil tanto por su capacidad de adoptar diversas formas mediante el moldeo, como por su aplicación en elementos estructurales y no estructurales, además de presentar ventajas económicas. Gracias a estas características, puede competir con otros sistemas constructivos como la madera, la piedra y el acero. Su composición fundamental está constituida por cemento Portland, agregados finos y gruesos, agua y, eventualmente, aditivos; y luego de completar su

proceso de endurecimiento, el material adquiere la capacidad de resistir altos esfuerzos de compresión.

2.2.1 Componentes del concreto

2.2.1.1. Agua para mezcla. Según Sánchez de Guzmán (2001), debido a la reacción química que el cemento presenta al entrar en contacto con el agua, este material adquiere la capacidad de fraguar y endurecer, lo que explica su carácter hidráulico. En este sentido, el agua dentro del concreto cumple una función fundamental, pues permite la hidratación de las partículas de cemento, posibilitando el desarrollo de sus propiedades aglutinantes y su posterior endurecimiento.

2.2.1.2 Aire. Durante la etapa de mezclado del concreto es habitual la presencia de aire en su interior, el cual es expulsado posteriormente mediante el proceso de vibración, según lo indicado por Sánchez de Guzmán (2001), siempre existe un residuo de aire en el concreto endurecido.

2.2.1.3 Agregado. A continuación, se describen los distintos tipos de agregados. Siempre que el constructor acredite, mediante ensayos de laboratorio y experiencia en obra, que el concreto resultante cumple con los requisitos de resistencia y durabilidad, la NTP E.060 permite el uso de materiales granulares —ya sean de origen natural o artificial, como arena, grava, piedra triturada y escoria de alto horno— aun cuando estos no satisfagan de forma estricta las especificaciones establecidas. Asimismo, la norma señala que la producción de concreto se logra mediante la combinación de dichos agregados con un material cementante.

A. Agregado fino. El agregado fino utilizado en el concreto puede provenir de arena natural o de arena manufacturada y debe estar exento de contaminantes nocivos como polvo o materia orgánica; asimismo, el porcentaje total de terrones de arcilla y partículas friables no debe exceder el 2 % de su peso seco. De acuerdo con la NTP E.060, este tipo de agregado está conformado por materiales provenientes de procesos de desintegración natural o artificial que

pasan el tamiz de 9.5 mm (3/8”) y cumplen con los requisitos de la norma ASTM C330. Asimismo, se indica que cuanto más semejantes sean las densidades de los materiales que integran el agregado, mayor será la similitud de su comportamiento dentro del concreto (Herrera, 2018).

B. Agregado grueso. El agregado grueso puede estar conformado por grava natural o triturada, piedra partida, así como por agregados metálicos de procedencia natural o artificial. Conforme a lo establecido en la NTP E.060, este tipo de agregado está formado por materiales que quedan retenidos en el tamiz de 4.75 mm (N°4), provenientes de la desintegración natural o mecánica de las rocas, y deben cumplir con los límites especificados en la norma NTP 400.037.

2.2.1.4. Cemento Portland. La capacidad del cemento para fraguar y endurecer al reaccionar químicamente con el agua, proceso conocido como hidratación, es lo que permite clasificarlo como un material hidráulico. Asimismo, Sánchez de Guzmán (2001) señala que se trata de un material aglutinante con propiedades de cohesión y adherencia, las cuales le permiten unir las partículas minerales entre sí.

Los principales componentes del cemento Portland son:

A. Silicato tricálcico. ($3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2 = \text{C}_3\text{S}$, conocido como alita). Durante el proceso de hidratación, este compuesto cumple un rol significativo en la liberación de calor y es el principal responsable del desarrollo de la resistencia inicial del cemento, particularmente en la primera semana de curado.

B. Silicato dicálcico. ($2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2 = \text{C}_2\text{S}$, denominado belita). Este componente contribuye principalmente al desarrollo de la resistencia del cemento a edades avanzadas y presenta una menor influencia en la liberación de calor durante el proceso de hidratación.

C. Aluminato tricálcico. ($3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 = \text{C}_3\text{A}$). Este compuesto influye en el comportamiento del cemento frente a la acción de los sulfatos, ya que al reaccionar con ellos

forma sulfoaluminatos de carácter expansivo; por esta razón, su contenido debe ser controlado para evitar efectos perjudiciales en la durabilidad del concreto.

D. Óxidos de Potasio y Sodio. (K_2O , Na_2O). Estos compuestos adquieren relevancia en situaciones particulares debido a su participación en reacciones químicas con determinados tipos de agregados; además, aquellos que son solubles en agua pueden favorecer la aparición de eflorescencias cuando el concreto contiene agregados de naturaleza calcárea.

E. Ferro aluminato tetra cálcico. ($4CaO \cdot Al_2O_3 \cdot Fe_2O_3 = C_4AF$, conocida como celita). Este componente influye en la velocidad del proceso de hidratación del cemento y, de manera secundaria, en la cantidad de calor liberado durante dicho proceso.

2.2.2 Propiedades del concreto

A continuación, se describirá las propiedades que se analizarán en el presente estudio:

2.2.2.1 Propiedades físicas:

A. Permeabilidad. Debido a la presencia de vacíos en su estructura —generados por el uso de poco o ningún agregado fino y por una menor dosificación de cemento en relación con el concreto convencional— el concreto permeable presenta una alta capacidad para drenar el agua de lluvia hacia el subsuelo; por esta razón, en las últimas décadas ha sido ampliamente empleado en Norteamérica en la construcción de estacionamientos y vías de bajo tránsito. De acuerdo con el ACI Committee 522 (2010), el concreto permeable se distingue por su capacidad para vacíos que oscila entre el 15 % y el 35 %, una resistencia a la compresión que oscila entre 2.8 y 28 MPa y una capacidad de drenaje que oscila entre 81 y 730 litros por minuto por metro cuadrado; desde el punto de vista técnico, este tipo de concreto suele utilizar una proporción agua/cemento que varía entre 0,28 y 0,40.

En el panorama nacional, donde el concreto es la piedra angular de la edificación, el concreto permeable, también conocido como concreto sin finos, emerge como una opción

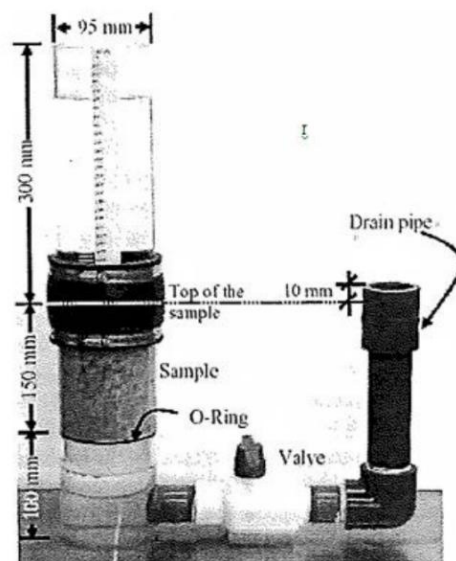
factible con un amplio horizonte de uso en caminos de tránsito ligero, estacionamientos y viviendas unifamiliares de menor costo.

De manera paralela a estos avances, en el año 2010 el ACI publicó una versión actualizada del informe ACI Committee 522 (2010), en la que se incorporan nuevas recomendaciones basadas en los progresos alcanzados en las prácticas de fabricación e instalación del concreto permeable. En este marco, resulta necesaria la realización de investigaciones a nivel local que permitan evaluar y validar su desempeño y viabilidad.

Para la siguiente propiedad se puede realizar el ensayo de permeabilidad con un permeámetro y con la cual se puede realizar la medición del coeficiente de permeabilidad con la ayuda de la fórmula de DARCY.

Figura 1

Permeámetro



Nota. Equipos utilizados para la medición de la permeabilidad del concreto permeable mediante un permeámetro de caída simple (Neithalath et al., 2003).

Formula:

$$k = \left(\frac{lxa}{txA} \right) \ln \left(\frac{h1}{h2} \right)$$

Donde:

k: Coeficiente de permeabilidad [cm/s].

l: Altura de muestra [cm].

A: Área de muestra [cm²].

a: Área de la tubería [cm²].

t: Tiempo desde h₁ a h₂ [s].

h₁: Altura de la columna de agua medida del nivel de referencia [cm].

h₂: Altura de la tubería de salida con respecto al nivel de referencia [cm].

Según Sánchez de Guzmán (2001), Ocaña y Rodríguez (2023) y Antaurco (2019), podemos explicar que los coeficientes de permeabilidad nos permitirán controlar el ingreso de agentes externos al concreto.

B. Peso unitario. Para determinar si el concreto es ligero, moderado o pesado, y para asegurar que la mezcla sea homogénea y eficiente, se lleva a cabo el ensayo de peso unitario en el laboratorio. Este se define como el peso del concreto compactado mediante varillado por cada metro cúbico de una muestra representativa y se mide en kilogramos por metro cúbico. Según Quispe y Ortiz (2020), las normas NTP 339.035 y ASTM C-138 señalan que el peso volumétrico del concreto convencional está condicionado por la densidad de los agregados utilizados, ubicándose generalmente en un rango de 2200 a 2500 kg/m³. Para su determinación, se emplea el mismo molde utilizado en el ensayo del peso unitario del agregado fino; el procedimiento consiste en llenar el recipiente con concreto fresco, registrar el peso total, obtener el peso volumétrico del concreto en estado fresco mediante el cálculo del peso neto del material y su posterior división entre el volumen del recipiente.

Formula:

$$P.U.C = \left(\frac{P_t - P_m}{V_m} \right)$$

Donde:

P.U.C: Peso unitario del concreto fresco [kg/cm³].

Pt: Peso total [kg].

Pm: Peso del molde [kg].

Vm: Volumen del molde [cm³].

Según Quispe y Ortiz (2020) y Sánchez de Guzmán (2001), indican que el peso unitario nos servirá como apoyo para determinar la densidad y el peso propio del elemento estructural.

2.2.2.2 Propiedades mecánicas:

A. Resistencia a la compresión. La principal virtud mecánica del concreto es su capacidad para soportar una carga por centímetro cuadrado, medida habitualmente en kg/cm². De acuerdo con Quispe y Ortiz (2020), tanto la NTP 339.034 como la norma ASTM C-39 establecen esta característica como fundamental en la evaluación del comportamiento del concreto.

Formula:

$$F'c = \left(\frac{P}{A}\right)$$

Donde:

F'c: Esfuerzo a compresión [kg/cm²].

A: Área del espécimen [cm²].

P: Máxima carga [kgf].

Según Quispe y Ortiz (2020) y Sánchez de Guzmán (2001), indican que la resistencia a la compresión nos determinará la capacidad de carga y nos apoyará para el diseño del elemento.

B. Resistencia a la flexión. La capacidad del concreto para resistir fallas ocasionadas por esfuerzos de flexión en elementos como vigas o losas se evalúa a través de la resistencia a la flexión, la cual constituye un indicador indirecto de su resistencia a la tracción. De acuerdo con Quispe y Ortiz (2020), Las normas ASTM C-78 y ASTM C-293 dictaminan que este

parámetro se obtiene a través de pruebas en vigas de concreto de 6 pulgadas (150 mm) y una longitud de luz no inferior a tres veces el espesor del elemento. El desenlace del ensayo se manifiesta en el Módulo de Rotura (MR), usualmente en MPa, y puede calcularse empleando el método de carga distribuido en tres tercios de la luz según la ASTM C-78 o aplicando una carga concentrada en el corazón según la ASTM C-293.

Formula:

$$Mr = \left(\frac{PxL}{bx d^2} \right)$$

Donde:

Mr: Modulo de rotua [kg/cm²].

P: Máxima carga [kgf].

L: Distancia entre apoyos del espécimen (cm).

b: Ancho promedio del espécimen (cm).

d: Peralte promedio del espécimen (cm).

Según Quispe y Ortiz (2020) y Sánchez de Guzmán (2001), indican que la resistencia a la flexión nos permitirá evaluar el comportamiento del concreto ante esfuerzos que producen agrietamiento.

2.2.3 Losa aligerada

La presente investigación se enfoca en la losa aligerada, ya que es un elemento estructural fundamental para distribuir las cargas muertas, vivas y sísmicas, además de contribuir a la integración y rigidez global del sistema estructural. Las propiedades estudiadas nos apoyarán para el proceso de diseño del elemento en mención, como la verificación por corte de las viguetas, el comportamiento frente al agrietamiento, el peso unitario y la permeabilidad del material, considerando la inclusión de la escoria de cobre.

Las losas aligeradas constituyen elementos fundamentales en la edificación, ya que están diseñadas para ofrecer superficies planas con adecuada resistencia estructural,

destacándose por su menor peso en comparación con las losas macizas tradicionales de concreto. Esta reducción de peso se consigue mediante la incorporación de elementos aligerantes, como casetones, bloques de poliestireno expandido (EPS) y, en determinados casos, ladrillos de techo. Dichos elementos se disponen estratégicamente dentro de la losa, formando una estructura tipo alveolar o similar a un panal, lo que permite disminuir de manera considerable el peso propio del sistema sin afectar su capacidad portante (CONSTRUNEIC, 2023).

2.2.3.1 Funciones de la losa aligerada. Las losas aligeradas cumplen un rol clave dentro de la estructura de una edificación y, desde el enfoque estructural, desempeñan diversas funciones fundamentales (CONSTRUNEIC, 2023):

A. Transmisión de cargas y peso. Una de las funciones más importantes de las losas aligeradas es la transferencia de las cargas hacia otros elementos estructurales, como vigas o muros. Estas cargas comprenden tanto el peso propio de la losa como el de los acabados, el mobiliario, los objetos y las personas que utilizan la edificación. De este modo, la losa funciona como un elemento resistente que distribuye las cargas de forma uniforme, evitando la concentración de esfuerzos en puntos específicos de la estructura (CONSTRUNEIC, 2023).

B. Resistencia a sismos. Las losas aligeradas cumplen una función esencial en el comportamiento sísmico de las edificaciones, ya que durante un sismo permiten canalizar las fuerzas inducidas por el movimiento sísmico hacia los elementos estructurales de soporte, como muros y vigas. Esta capacidad contribuye a preservar la integridad estructural del edificio y a reducir la probabilidad de daños significativos (CONSTRUNEIC, 2023).

C. Integración estructural. Además de su función en la transmisión de cargas y la resistencia frente a acciones sísmicas, las losas aligeradas desempeñan un rol integrador dentro de la estructura del edificio. Estas actúan como elementos de enlace que conectan columnas, vigas y muros, permitiendo que el sistema estructural trabaje de manera conjunta, coherente y

estable. Esta integración resulta fundamental para asegurar la estabilidad global y la seguridad de la edificación (CONSTRUNEIC, 2023).

2.3 Métodos de diseño de mezcla de concreto

Existen múltiples métodos para concebir mezclas de concreto, siendo las más populares las siguientes:

2.3.1 Método ACI

De acuerdo con Vásquez (2013), para concretos de peso normal el ACI, a través de su Comité 211, propuso un método de dosificación caracterizado por su sencillez y practicidad. Dicho procedimiento se basa en tablas con condiciones específicas que orientan la selección de proporciones y facilitan el cálculo de las cantidades de los materiales necesarios para producir un metro cúbico de concreto, siempre que se respeten los criterios establecidos en cada una de ellas.

2.3.2 Método del módulo de fineza de la combinación de agregados

Según Vásquez (2013), el enfoque ideado por Staton Walker y su equipo de investigación del laboratorio de concreto de la Universidad de Maryland permite ajustar la proporción de agregado fino y grueso para un metro cúbico de concreto, ajustando los contenidos de agregado fino y grueso según sus módulos de fineza. Dichos módulos constituyen una medida indirecta de la granulometría y de la superficie específica de los agregados, y se obtienen a partir de la combinación más adecuada de estos materiales, conforme a los requerimientos establecidos en las especificaciones de obra. En este método, fundamentado en el módulo de la mezcla de materiales, la proporción entre el fino y el grueso se adapta conforme a la resistencia exigida. Eso varía principalmente según la proporción entre agua y cemento, y la cantidad total de agua utilizada, elementos que influyen directamente en la presencia de cemento en el concreto.

2.3.3 Método Walker

De acuerdo con Vásquez (2013), a partir de una tabla elaborada por el profesor Walker es posible definir el contenido óptimo de agregado fino dentro del volumen absoluto total de los agregados. Esta herramienta considera, por un lado, el grado de fineza del agregado fino, el cual se clasifica como fino, medio o grueso, y por otro, la forma del agregado grueso, distinguiendo entre partículas angulares y redondeadas; para uno de estos casos se contemplan además cuatro alternativas del factor cemento. Una vez determinado el volumen absoluto correspondiente al agregado fino, el volumen del agregado grueso se obtiene por diferencia respecto al volumen total, y con estos valores se calcula posteriormente el peso seco de cada agregado que integrará la mezcla de concreto.

Por lo tanto, para la presente investigación se trabajará con el método ACI dado que es el método más económico ya que se requiere menos agua y cemento, científicamente respaldado y tradicional, además, los otros métodos de diseño también se apoyan de las tablas proporcionadas por el método en mención como parte de su procedimiento para poder obtener sus resultados.

2.4 Normas internacionales

2.4.1 Chile

Según Instituto Nacional de Normalización (INN, 2025), la NCH3894:2025, nos orienta el uso de escorias de fundición de cobre como áridos artificiales para aplicaciones en diversos materiales de construcción como morteros, concreto, mezclas asfálticas, prefabricados y obras viales. Esta norma entrega seguridad técnica y trazabilidad al mercado, asegurando calidad y confiabilidad para su incorporación en la industria de la construcción, basado en la experiencia local e internacional.

2.4.2 Japón

Según Japanese Standards Association (2018), la norma JIS A 5011-3 establece requisitos para el uso de áridos provenientes de escorias industriales en concreto.

2.4.3 Europa

La European Committee for Standardization, 2008, 2021. Indican que la escoria de cobre puede usarse en el concreto, pero debe cumplir los criterios de granulometría, resistencia, durabilidad, absorción y composición química de estas normas antes de su uso.

III. MÉTODO

3.1 Tipo de investigación

3.1.1 *Enfoque de la investigación*

De acuerdo con Hernández et al. (2010), el enfoque cuantitativo se distingue por su naturaleza secuencial y verificable, partiendo de una noción vasta que, gradualmente, se va afinando. Una vez definida la ruta, se trazan los objetivos y las interrogantes del estudio, se explora la literatura y se forja el marco teórico adecuado. Desde las interrogantes planteadas, se formulan las teorías y se descubren las variables, para luego trazar un plan que facilite su comprobación. Posteriormente, las variables son medidas en un contexto específico, los datos obtenidos son analizados y, finalmente, se formulan conclusiones en función del contraste de las hipótesis planteadas.

En función de lo expuesto anteriormente, la presente investigación se desarrolla bajo un enfoque cuantitativo, ya que mediante la ejecución de ensayos de laboratorio se obtendrán datos numéricos que permitirán contrastar las hipótesis planteadas. A través de la evaluación y el escrutinio de los datos, se revelarán comportamientos que afectarán las características del concreto con $f_c = 210 \text{ kg/cm}^2$ al ser incluido con escoria de cobre.

3.1.2 *Propósito de la investigación*

Según la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE, 2015) en el Manual de Frascati, la investigación aplicada comprende estudios originales orientados a la generación de nuevos conocimientos; no obstante, se caracteriza por estar enfocada principalmente en la consecución de un fin práctico o específico, con el propósito de dar solución a problemas concretos.

Por lo tanto, la presente investigación es aplicada, dado que con ayuda de la tecnología procesada por la investigación básica se puede realizar ensayos en laboratorio recolectando

datos para probar las hipótesis y determinar las propiedades del concreto $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ con la inclusión de la escoria de cobre.

3.1.3 Nivel de investigación

Su finalidad es comprender cómo se relacionan dos o más variables, bajo qué circunstancias se manifiesta un hecho y por qué se produce, tanto en el ámbito físico como en el social. En este sentido, Hernández et al. (2010), señalan que la investigación explicativa se orienta a identificar los factores causales de los fenómenos o eventos.

Por lo antes mencionado la presente investigación es explicativa porque se busca explicar los resultados a través de los ensayos manipulando la variable independiente que son las causas del problema proponiendo las distintas dosificaciones para la escoria de cobre. Y conocer los efectos en la variable dependiente que son las propiedades del concreto.

3.1.4 Diseño de investigación

Según Hernández et al. (2010), en los diseños de investigación cuasiexperimentales los participantes no son asignados de manera aleatoria ni emparejados entre los distintos grupos, sino que estos ya se encuentran previamente conformados antes de la ejecución del experimento.

Por lo tanto, esta investigación es cuasiexperimental debido a que la escoria de cobre no es asignada aleatoriamente.

3.2 Ámbito temporal y espacial

3.2.1 Ámbito temporal

Según Hernández et al. (2010), el ámbito temporal establece la época de la investigación.

Por lo tanto, los ensayos de la presente investigación abarcarán en el año 2025.

3.2.2 Ámbito espacial

Según Hernández et al. (2010) el ámbito espacial establece el lugar de la investigación.

Por consiguiente, el ámbito espacial de esta investigación estará determinado por los datos obtenidos en el laboratorio de ensayo de materiales de la UNFV-FIC, el cual se encuentra ubicado en el Jr. Diego de Agüero N.º 206 (ex Yungay), en el distrito de Magdalena del Mar.

3.3 Variables

Según Hernández et al. (2010), una variable se define como una característica o propiedad susceptible de presentar variaciones y que puede ser medida u observada.

3.3.1 Variable independiente

Según Hernández et al. (2010), la variable independiente es aquella que se considera como la causa o factor explicativo dentro de una relación entre variables.

VI: La inclusión de la escoria de cobre como sustituto del agregado fino.

3.3.2 Variable dependiente

De acuerdo con Hernández et al. (2010), la variable dependiente corresponde al resultado o efecto que se genera como consecuencia de la modificación de la variable independiente.

VD: Las propiedades del concreto $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ para losas aligeradas.

3.4 Población y muestra

3.4.1 Población

De acuerdo con Hernández et al. (2010), retomando lo expuesto por Selltitz et al. (1980), la población se concibe como el total de elementos o casos que reúnen ciertas características o criterios previamente establecidos.

Por lo tanto, la presente población está compuesta por la producción del concreto $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ para losas aligeradas con adición de escoria de cobre en el distrito de Magdalena del Mar.

3.4.2 Muestra

De acuerdo con Hernández et al. (2010), la muestra se define como un subconjunto representativo de la población de interés, en el cual se realiza el proceso de recolección de información; este debe ser delimitado previamente de manera precisa y, además, debe representar adecuadamente a la población de la cual se extrae.

Por lo tanto, las muestras no aleatorias dirigidas con criterio de inclusión por las normas de la presente investigación son los especímenes que se detallan a continuación:

Conforme a la norma NTP 339.034, el ensayo de resistencia a la compresión debe realizarse a los 28 días de curado o a la edad previamente definida para la determinación del f'_c . En este contexto, cada mezcla experimental requiere ser elaborada, curada y evaluada bajo condiciones normalizadas y estrictamente controladas. Cada etapa de ensayo exige al menos dos probetas cilíndricas de 6" de diámetro y 12" de altura (150 mm $\times$ 300 mm) o, en su defecto, tres probetas cilíndricas de 4" de diámetro y 8" de altura (100 mm $\times$ 200 mm). En este estudio, se utilizan 24 probetas cilíndricas de 4" de diámetro y 8" de altura para el análisis de compresión.

Tabla 1

Ensayo a compresión – cantidad de probetas cilíndricas

ENSAYO A COMPRESIÓN		
DESCRIPCIÓN	7 DÍAS	28 DÍAS
PATRON	3	3
E20%	3	3
E30%	3	3
E40%	3	3

Para el ensayo a flexión según la norma NTP 339.078 los moldes de vigas serán de 21” x 6”x 6”, estas se ensayarán a 7 y 28 días de iniciado la mezcla. La cantidad de muestras serán de un total de 24 unidades.

Tabla 2

Ensayo a flexión – cantidad de moldes de viga

ENSAYO A FLEXION		
DESCRIPCIÓN	7 DÍAS	28 DÍAS
PATRON	3	3
E20%	3	3
E30%	3	3
E40%	3	3

Para la determinación del peso unitario conforme a la norma NTP 339.046, el recipiente empleado como molde debe presentar una altura aproximadamente equivalente a su diámetro; sin embargo, dicha altura no debe ser inferior al 80 % ni superior al 150 % del diámetro del recipiente. Para la ejecución de este ensayo se considerará la realización de cuatro muestras.

Tabla 3

Ensayo de peso unitario– cantidad de ensayos

ENSAYO DE PESO UNITARIO							
Descripción	fecha de ensayo	Diámetro (mt)	Altura (mt)	Área(m2)	Volumen (m3)	Peso (kg)	Peso unitario (kg/m3)
PATRON							
E20%							
E30%							
E40%							

Para el ensayo de permeabilidad, de acuerdo con lo establecido en la norma ACI Committee 522 (2010), las probetas deben confeccionarse en moldes cilíndricos de 4” de diámetro y 8” de altura, y ser sometidas a ensayo a los 28 días de curado. En este estudio, el número total de muestras destinadas a la evaluación de la permeabilidad corresponde a 12 probetas.

Tabla 4

Ensayo de permeabilidad– cantidad de ensayos

ENSAYO DE PERMEABILIDAD	
DESCRIPCIÓN	28 DÍAS
PATRON	3
E20%	3
E30%	3
E40%	3

La selección de tres especímenes por condición es coherente con las prácticas recomendadas por normas ASTM y ACI para la evaluación de propiedades mecánicas del concreto permitiendo obtener valores promedio representativos sin comprometer la validez de los resultados. La edad de 28 días es la principal para la aceptación del concreto, la edad de 7 días fue tomada en cuenta para evaluar el desarrollo temprano. Para la permeabilidad se tomó como referencia la edad de 28 días ya que representa el estado maduro del concreto y es la referencia estándar para evaluar propiedades de durabilidad.

El total de especímenes de probetas cilíndricas son de 36 unidades y de vigas prismáticas son 24 unidades.

3.5 Instrumentos

De acuerdo con Hernández et al. (2010), los instrumentos se conciben como los recursos o herramientas utilizados por el investigador para la obtención y el registro de datos o información vinculada a las variables de estudio.

Para el registro de la información se utilizarán fichas de control orientadas a consignar los resultados de los ensayos de permeabilidad, peso unitario, resistencia a la compresión y resistencia a la flexión del concreto con $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ que incorpora escoria de cobre. De manera complementaria, se tomarán como marco de referencia las normas técnicas NTP 339.034, NTP 339.059, NTP 399.046 y la ACI Committee 522 (2010), a fin de asegurar la correcta aplicación de los criterios y parámetros establecidos.

- Ficha técnica N° 1: Resistencia a la compresión
- Ficha técnica N° 2: Resistencia a la flexión
- Ficha técnica N° 3: Permeabilidad
- Ficha técnica N° 4: Peso unitario

Se usará las herramientas y equipos del laboratorio certificadas para evitar errores de los resultados que se obtendrán.

3.5.1 Validación de instrumento

El juicio de expertos constituye un método de validación adecuado para comprobar la confiabilidad de una investigación, el cual se define como la valoración emitida por personas con amplia experiencia y conocimiento en el tema, reconocidas por la comunidad académica como especialistas calificados, capaces de aportar información, evidencias, apreciaciones y juicios fundamentados (Escobar y Cuervo, 2008). En ese sentido, en la presente investigación se emplearon fichas que fueron sometidas a validación por tres expertos, quienes evaluaron cada una de ellas asignando puntajes entre 0 y 1. Como resultado, se obtuvo un promedio superior a 0.5, criterio que permitió considerar dichas fichas como validadas.

3.6 Procedimientos

A continuación, indicaremos el procedimiento que realizaremos para la presente investigación en la que reemplazaremos el 0%, 20%, 30% y 40% del agregado fino por escoria de cobre.

3.6.1 Etapa 1 - recolección de materiales

El agregado grueso y la arena fina fue comprado en la Ferretería “La Libertad”, el cemento portland tipo I de la marca “Cemento Sol” fue donado por la obra “Planta Restaurante Acurio” y la escoria de cobre fue comprada a la empresa “DYRSERVERS SRL”.

A continuación, se indica las especificaciones técnicas de los materiales:

Tabla 5

Especificaciones técnicas de los materiales

Cemento Portland		
Cemento Portland	TIPO I	
Tipo I ASTM	C- 150	
Peso específico	3.13	gr/cm ³
Agregado Grueso		
Tam. Máx Nominal	1"	
Peso unitario seco varillado	1.58	Tn/m ³
Peso unitario suelto	1.47	Tn/m ³
Peso específico (base saturada)	2.90	Tn/m ³
Absorción	0.54	%
Humedad (w)	0.57	%
Agregado fino (Arena gruesa)		
Peso específico (base saturada)	2.57	Tn/m ³
Peso unitario seco varillado	1.70	Tn/m ³
Peso unitario suelto	1.41	Tn/m ³
Absorción	2.97	%
Humedad (w)	2.75	%
Módulo de fineza	3.13	
Agregado fino (Escoria de cobre)		
Peso específico (base saturada)	3.33	Tn/m ³
Peso unitario seco varillado	1.77	Tn/m ³
Peso unitario suelto	1.72	Tn/m ³

Absorción	0.19	%
Humedad (w)	0.02	%
Módulo de fineza	3.89	

3.6.2 Etapa 2 - recepción de la escoria de cobre

La escoria de cobre obtenida fue trasladada al laboratorio para ser tamizado por la malla $\frac{1}{4}$ " y corroborar el tamaño para que pueda sustituir el agregado fino, al pasar la malla $\frac{1}{4}$ " se confirmó que puede ser usado como agregado fino sin previa trituración.

Figura 2

Tamiz $\frac{1}{4}$ "



3.6.3 Etapa 3. caracterización de los materiales

3.6.3.1 Muestreo. Se realiza el muestreo de un saco para tener una muestra representativa del material en una zona donde no se combine con otros elementos, esta etapa está basado en la norma NTP 400.010.

3.6.3.2 Análisis granulométrico por tamizado. El presente ensayo está basado según las normas NTP 400.012, en la cual usaremos tamices y balanzas, para el agregado grueso con aberturas de $1\frac{1}{2}$ ", 1", $\frac{3}{4}$ ", $\frac{1}{2}$ ", $\frac{3}{8}$ ", N°4, N°8 y fondo, así como tamices para el agregado fino con aberturas numeradas: $\frac{3}{8}$ ", N°4, N°8, N°16, N°30, N°50, N°100 y fondo.

Tabla 6

Análisis granulométrico – escoria de cobre

Peso Inicial de la Muestra (gr):		392.2			
TAMIZ Pulg.	Abertura (mm)	Peso Retenido (gr)	Peso Retenido (%)	Retenido Acumulado (%)	Pasante Acumulado (%)
3/8"	9.52	0	0.0		
N°4	4.75	0.1	0.0		100
N°8	2.36	43.7	11.1	11.2	88.8
N°16	1.18	267.4	68.2	79.3	20.7
N°30	0.6	76.10	19.4	98.8	1.2
N°50	0.3	4.20	1.1	99.8	0.2
N°100	0.149	0.50	0.1	99.9	0.1
FONDO	0.075	0.20	0.1	100.0	0.00
Total			100.00		
Mod. fineza			3.89		

Figura 3

Curva granulométrica - escoria de cobre

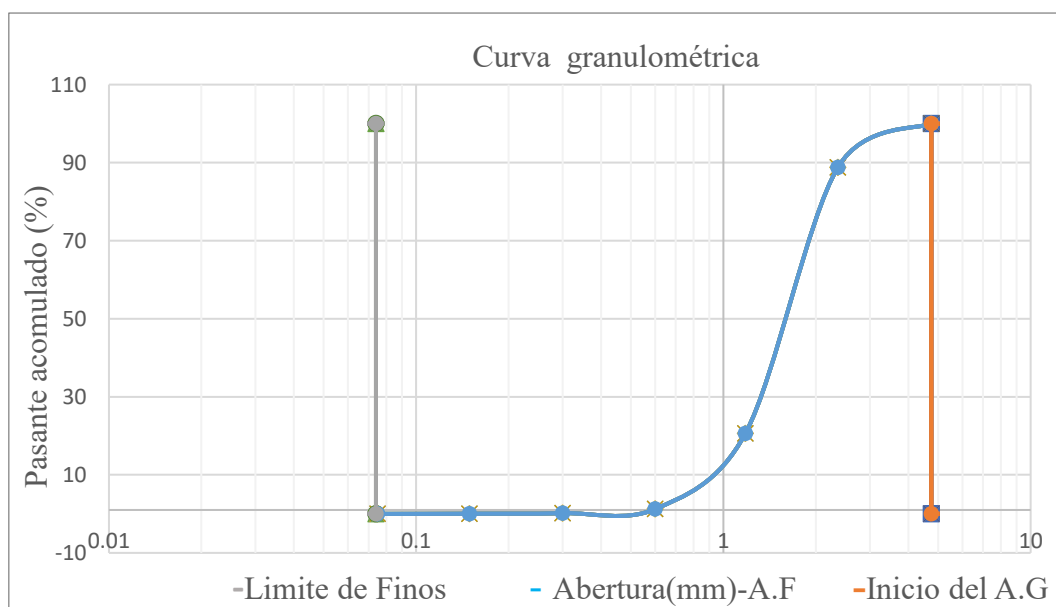
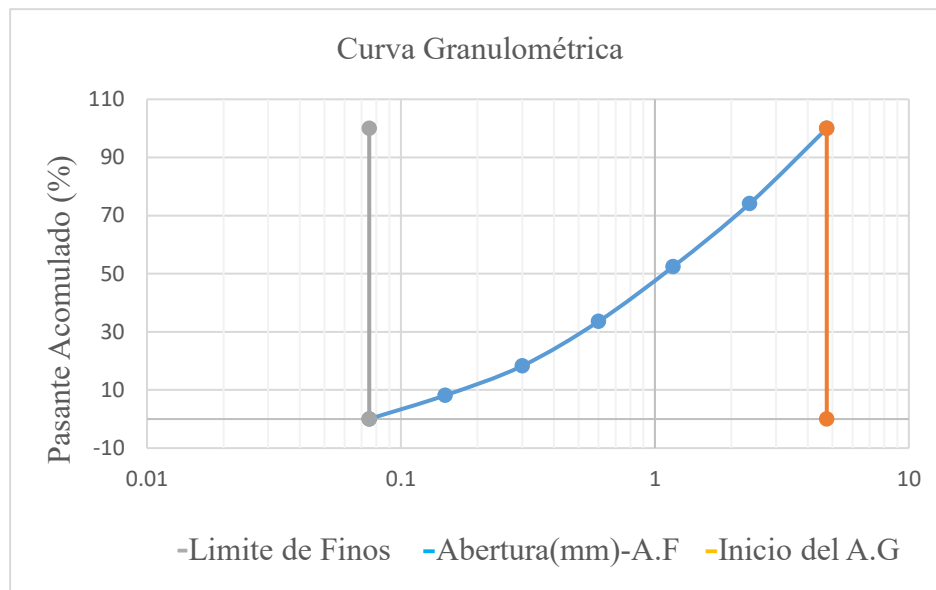


Figura 4*Granulometría de la escoria de cobre*

Módulo de fineza de la escoria de cobre: 3.89

Tabla 7*Análisis granulométrico – arena gruesa*

PESO INICIAL DE LA MUESTRA (gr):		324.8			
TAMIZ Pulg.	Abertura (mm)	Peso Retenido (gr)	Peso Retenido (%)	Retenido Acumulado (%)	Pasante Acumulado (%)
3/8"	9.52	0	0.0		
N°4	4.75	14.2	4.4		100
N°8	2.36	69.9	21.5	25.9	74.1
N°16	1.18	70.4	21.7	47.6	52.4
N°30	0.6	61.20	18.8	66.4	33.6
N°50	0.3	49.80	15.3	81.7	18.3
N°100	0.149	32.90	10.1	91.9	8.1
FONDO	0.075	26.30	8.1	100.0	0.0
TOTAL		324.70	99.97		
MOD.FINEZA			3.13		

Figura 5*Curva granulométrica - arena gruesa***Figura 6***Granulometría de la arena gruesa*

Módulo de fineza de la arena gruesa: 3.13

Tabla 8*Análisis granulométrico – agregado grueso*

PESO INICIAL DE LA MUESTRA (gr):		12163.5			
TAMIZ Pulg.	Abertura (mm)	Peso Retenido (gr)	Peso Retenido (%)	Retenido Acumulado (%)	Pasante Acumulado (%)
1 1/2"		0	0.0		100
1"	25.2	1676	13.8	13.8	86.2
3/4"	18.9	5322	43.8	57.5	42.5
1/2"	12.6	4881.5	40.1	97.7	2.3
3/8"	9.52	142.50	1.2	98.8	1.2
N°4	4.75	75.50	0.6	99.5	0.5
N°8	2.36	5.00	0.0	99.5	0.5
N°16	1.18	0.00	0.0	99.5	0.5
N°30	0.6	0.00	0.0	99.5	0.5
N°50	0.3	0.00	0.0	99.5	0.5
N°100	0.149	0.00	0.0	99.5	0.5
FONDO	0.075	61.00	0.5	100.0	0.0
TOTAL		12163.50		100.00	
MOD.FINEZA			7.53		

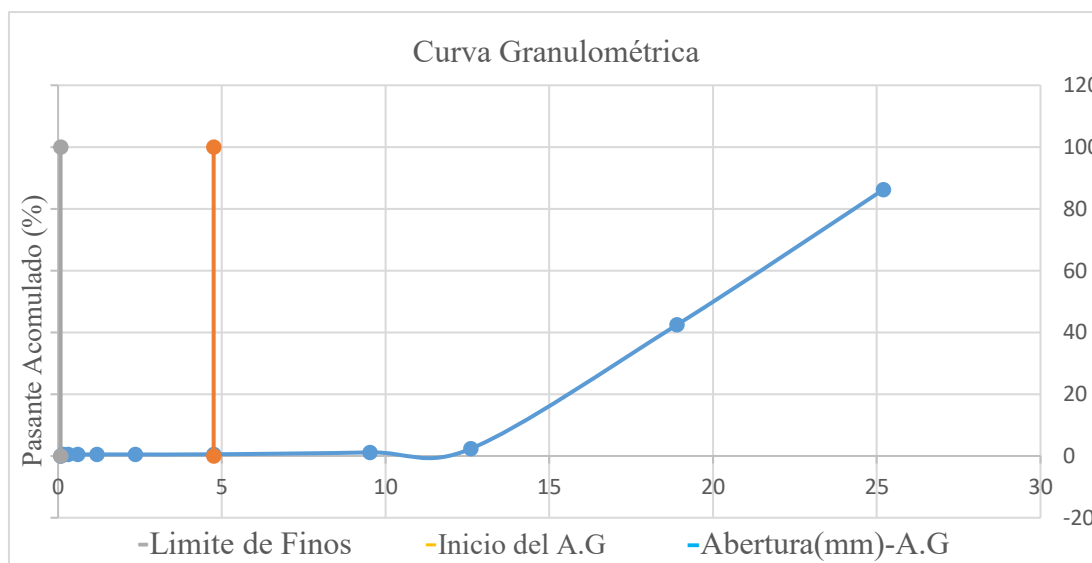
Figura 7*Curva granulométrica-agregado grueso*

Figura 8*Granulometría del agregado grueso*

Módulo de fineza del agregado grueso: 7.53

3.6.3.2 Contenido de humedad. El presente ensayo para determinar el contenido de humedad se basó en la norma ASTM D 2216 y la NTP 339.185. El procedimiento inicia con obtener la muestra, pesarla en estado húmeda y llevarla al horno a una temperatura de 110°C por 24 horas para obtener el peso seco.

Luego de obtener los datos de las muestras en estado húmedo y seco, se procede a calcular el contenido de humedad de la siguiente forma:

$$W\% = \frac{100(W_h - W_s)}{W_s}$$

El contenido de humedad del suelo se expresa mediante la variable “W”, mientras que el peso de la muestra en estado húmedo se identifica como “Wh” y el correspondiente a la condición seca se designa con “Ws”.

Tabla 9

Contenido de humedad del agregado fino (escoria de cobre)

RECIPIENTE N°	J-7	T-1	T-10
PESO DEL RECIPIENTE (gr)	297.3	434.2	230.8
PESO DEL RECIPIENTE + MUESTRA HUMEDA	740.7	929.1	672.2
PESO DEL RECIPIENTE + MUESTRA SECA	740.5	929	672.2
PESO DE LA MUESTRA HUMEDA	443.4	494.9	441.4
PESO DE LA MUESTRA SECA	443.2	494.8	441.4
W %	0.05	0.02	0.00
PROMEDIO	0.02		

Figura 9

Escoria de cobre en el horno



Tabla 10

Contenido de humedad del agregado fino (arena gruesa)

RECIPIENTE N°	N°42
PESO DEL RECIPIENTE (gr)	298.4
PESO DEL RECIPIENTE + MUESTRA HUMEDA	660.7
PESO DEL RECIPIENTE + MUESTRA SECA	651
PESO DE LA MUESTRA HUMEDA	362.3
PESO DE LA MUESTRA SECA	352.6
W %	2.75

Porcentaje de humedad de la arena gruesa: 2.75%.

Figura 10

Arena gruesa en el horno



Tabla 11*Contenido de humedad del agregado grueso*

RECIPIENTE N°	N°4
PESO DEL RECIPIENTE (gr)	335.4
PESO DEL RECIPIENTE + MUESTRA HUMEDA	4002.8
PESO DEL RECIPIENTE + MUESTRA SECA	3982.1
PESO DE MUESTRA HUMEDA	3667.4
PESO DE MUESTRA SECA	3646.7
W %	0.57

Porcentaje de humedad del agregado grueso: 0.57%

Figura 11*Agregado grueso en el horno*

3.6.3.3 Absorción y peso específico. Conforme a la norma NTP 400.021, este ensayo se orienta a la determinación de la absorción y el peso específico de los agregados. Para ello, se inicia con la obtención de una muestra representativa que es sometida a un lavado previo, con el propósito de remover partículas de polvo y materiales extraños adheridos. Una vez

limpia, la muestra es colocada en un horno, donde se mantiene a una temperatura controlada que oscila entre 100 °C y 110 °C.

Tras completar esta etapa, la muestra se somete a inmersión en agua durante 24 horas. Finalizado dicho periodo, se procede al secado superficial del material y al primer registro de su peso. Seguidamente, el agregado se coloca en una canastilla metálica para medir su peso en estado sumergido, asegurando que el agua se mantenga a una temperatura entre 21 °C y 25 °C. Finalmente, el material es llevado nuevamente al horno y expuesto a una temperatura comprendida entre 100 °C y 110 °C por un tiempo adicional de 24 horas.

Una vez retirada del horno, la muestra se deja enfriar durante un periodo aproximado de 1 a 3 horas y luego se vuelve a sumergir en agua por 24 horas. Al finalizar la inmersión, el material se extrae del agua y se seca superficialmente haciendo rodar las partículas sobre un paño absorbente de gran tamaño, asegurando la eliminación del agua visible y secando individualmente los fragmentos de mayor tamaño. Tras este proceso, la muestra se pesa para obtener el peso superficialmente seco, identificado como (B).

Posteriormente, la muestra se vuelve a colocar dentro de la canastilla metálica para medir su peso en condición sumergida en agua, manteniendo una temperatura entre 21 °C y 25 °C, valor identificado como (C). Finalmente, el material es introducido nuevamente en el horno a una temperatura comprendida entre 100 °C y 110 °C durante un periodo de 24 horas; una vez finalizada la etapa de secado, la muestra es retirada del horno y dejada en reposo hasta alcanzar la temperatura ambiente; posteriormente, se determina el peso correspondiente al material completamente seco, excluyendo el recipiente, valor que se identifica como (A).

A = Peso de la muestra seca

B = Peso de la muestra saturada con superficie seca

C = Peso sumergido en agua de la muestra saturada

Las siguientes ecuaciones permiten determinar los pesos específicos aparentes, saturados con superficie seca y nominal, además de la absorción:

$$\text{Peso específico de masa} = \frac{A}{A-C}$$

$$\text{Peso específico de aparente (S.S.S)} = \frac{B}{B-C}$$

$$\text{Peso específico de aparente} = \frac{A}{B-C}$$

$$\text{Absorción} = \frac{B-A}{A}$$

Tabla 12

Peso específico y absorción de la escoria de cobre:

PESO ESPECÍFICO	MUESTRA	MUESTRA
FIOLA N°	A-1	1
PESO DE LA FIOLA + AGUA (gr)	675.4	677.8
RECIPIENTE N°	L0-7	H16J
PESO DEL RECIPIENTE (gr)	238.7	412.5
PESO DEL RECIPIENTE + MUESTRA SSS	698.40	777.9
PESO DE LA FIOLA+AGUA+MUESTRA SSS	997.30	933.7
PESO MUESTRA SECA + RECIPIENTE	697.10	777.1
VOLUMEN (CM3)	137.80	109.50
PESO ESPECIFICO	3.327	3.330
PROMEDIO	3.328	
ABSORCIÓN		
RECIPIENTE N°	GP-01	
PESO DEL RECIPIENTE	418.50	
PESO DEL RECIPIENTE + MUESTRA SSS	1065.90	
PESO DEL RECIPIENTE+MUESTRA SECA	1064.7	
PESO SECO	646.20	
%ABS	0.19	

Peso específico de la escoria de cobre: 3.328

Absorción de la escoria de cobre: 0.19%

Figura 12

Fiola con muestra de la escoria de cobre



Tabla 13

Peso específico y absorción de la arena gruesa:

PESO ESPECÍFICO	MUESTRA	MUESTRA
FIOLA N°	SIN NOMBRE	B-07
PESO DE LA FIOLA + AGUA (gr)	661.7	674.7
RECIPIENTE N°	I-02	LO-7
PESO DEL RECIPIENTE (gr)	264.1	238.7
PESO DEL RECIPIENTE + MUESTRA SSS	729.30	662.4
PESO DE LA FIOLA+AGUA+MUESTRA SSS	950.10	937.4
PESO MUESTRA SECA + RECIPIENTE	717.00	653.1
VOLUMEN (CM3)	176.80	161.00
PESO ESPECÍFICO	2.562	2.574
PROMEDIO		2.568
ABSORCIÓN		
RECIPIENTE N°	J-7	
PESO DEL RECIPIENTE	297.40	
PESO DEL RECIPIENTE + MUESTRA SSS	1149.60	
PESO DEL RECIPIENTE+MUESTRA SECA	1125.0	
PESO SECO	827.60	
%ABS	2.97	

Peso específico de la arena gruesa: 2.568

Absorción de la arena gruesa: 2.97%

Figura 13

Fiola con muestra de la arena gruesa



Tabla 14

Peso específico y absorción del agregado grueso:

PESO ESPECIFICO	MUESTRA	MUESTRA
RECIPIENTE N°	II	GP-01
PESO DEL RECIPIENTE (gr)	350	420.0
PESO DEL RECIPIENTE +	2710.00	2200.0
MUESTRA SSS AIRE		
PESO MUESTRA SSS	1550.00	1170.0
SUMERGIDO		
PESO DEL	2700.00	2190.0
RECIPIENTE+MUESTRA SECA		
VOLUMEN (CM3)	810.00	610.00
PESO ESPECIFICO (gr/cm3)	2.90	2.90
PROMEDIO		2.90
ABSORCIÓN		
ABSORCIÓN (%)	0.43	0.54

Peso específico del agregado grueso: 2.90

Absorción del agregado grueso: Se trabajará con el valor de 0.54%

Figura 14*Agregado grueso sumergido*

3.6.3.4 Peso unitario de los agregados suelto y varillado. Para lograr un diseño de mezcla óptimo, este ensayo se enfoca en calcular el peso unitario tanto suelto como varillado de los agregados, conforme a las normas NTP 400.017 o ASTM C-29.

A. Peso unitario suelto

- Determinar el peso y el volumen del recipiente utilizado como molde.
- Introducir el agregado dentro del molde sin aplicar ningún tipo de compactación.
- Una vez completado el llenado del molde, nivelar la superficie del material utilizando la varilla.

B. Peso unitario varillado

- Determinar previamente el peso y el volumen del molde utilizado.
- Colocar el agregado dentro del molde en tres capas sucesivas.

- En cada capa, nivelar manualmente el material y compactarlo aplicando 25 golpes uniformemente distribuidos con una varilla lisa de 5/8”.
- Una vez completado el llenado del molde, alisar y nivelar la superficie utilizando la varilla.
- Finalmente, pesar el molde que contiene el agregado ya compactado.

Tabla 15

Peso unitario suelto-escoria de cobre.

MUESTRA	1	2	3
VOLUMEN DEL RECIPIENTE (cm3)	2830.6	2830.6	2830.6
PESO DEL RECIPIENTE (gr)	2830	2830	2830
PESO DEL RECIPIENTE + MUESTRA HUMEDA	7670	7700	7710
PESO DE LA MUESTRA HUMEDA	4840	4870	4880
PESO UNITARIO SUELTO HUMEDO (kg/m3)	1709.9	1720.5	1724.0
HUMEDAD			
RECIPIENTE N°	J-7	T-1	T-10
PESO DEL RECIPIENTE (gr)	297.3	434.2	230.8
PESO DEL RECIPIENTE + MUESTRA HUMEDA	740.7	929.1	672.2
PESO DEL RECIPIENTE + MUESTRA SECA	740.5	929	672.2
W	0.00045	0.00020	0.00000
PESO UNITARIO SUELTO SECO (kg/m3)	1709.11	1720.14	1724.02
PROMEDIO	1717.76		

Peso unitario suelto seco: 1717.76 kg/m3

Figura 15

Ensayo del peso unitario suelto de la escoria de cobre

**Tabla 16**

Peso unitario varillado-escoria de cobre.

MUESTRA	1	2	3
VOLUMEN DEL RECIPIENTE (cm ³)	2830.6	2830.6	2830.6
PESO DEL RECIPIENTE (gr)	2830	2830	2830
PESO DEL RECIPIENTE + MUESTRA HUMEDA	7830	7840	7820
PESO DE LA MUESTRA HUMEDA	5000	5010	4990
PESO UNITARIO VARILLADO HUMEDO (kg/m ³)	1766.4	1769.9	1762.9
HUMEDAD			
RECIPIENTE N°	J-7	T-1	T-10
PESO DEL RECIPIENTE (gr)	297.3	434.2	230.8
PESO DEL RECIPIENTE + MUESTRA HUMEDA	740.7	929.1	672.2
PESO DEL RECIPIENTE + MUESTRA SECA	740.5	929	672.2
W	0.00045	0.00020	0.00000
PESO UNITARIO VARILLADO SECO (kg/m ³)	1765.61	1769.59	1762.88
PROMEDIO	1766.03		

Peso unitario varillado seco: 1766.03 kg/m³

Figura 16

Ensayo del peso unitario varillado de la escoria de cobre



C. Peso unitario suelto - arena gruesa

Tabla 17

Peso unitario suelto- arena gruesa

MUESTRA	1	2	3
VOLUMEN DEL RECIPIENTE (cm ³)	2830.6	2830.6	2830.6
PESO DEL RECIPIENTE (gr)	2830	2830	2830
PESO DEL RECIPIENTE + MUESTRA HUMEDA	6920	6960	6950
PESO DE LA MUESTRA HUMEDA	4090	4130	4120
PESO UNITARIO SUELTO HUMEDO (kg/m ³)	1444.9	1459.1	1455.5
HUMEDAD			
RECIPIENTE N°	N°42	N°42	N°42
PESO DEL RECIPIENTE (gr)	298.4	298.4	298.4
PESO DEL RECIPIENTE + MUESTRA HUMEDA	660.7	660.7	660.7
PESO DEL RECIPIENTE + MUESTRA SECA	651	651	651
W	0.02751	0.02751	0.02751
PESO UNITARIO SUELTO SECO (kg/m ³)	1406.24	1419.99	1416.55
PROMEDIO	1414.26		

Peso unitario suelto seco: 1414.26 kg/m³

Figura 17

Ensayo del peso unitario suelto de la arena gruesa



D. Peso unitario varillado - arena gruesa

Tabla 18

Peso unitario varillado-arena gruesa

MUESTRA	1	2	3
VOLUMEN DEL RECIPIENTE (cm ³)	2830.6	2830.6	2830.6
PESO DEL RECIPIENTE (gr)	2830	2830	2830
PESO DEL RECIPIENTE + MUESTRA HUMEDA	7770	7800	7790
PESO DE LA MUESTRA HUMEDA	4940	4970	4960
PESO UNITARIO VARILLADO HUMEDO (kg/m ³)	1745.2	1755.8	1752.3
HUMEDAD			
RECIPIENTE N°	N°42	N°42	N°42
PESO DEL RECIPIENTE (gr)	298.4	298.4	298.4
PESO DEL RECIPIENTE + MUESTRA HUMEDA	660.7	660.7	660.7
PESO DEL RECIPIENTE + MUESTRA SECA	651	651	651
W	0.02751	0.02751	0.02751
PESO UNITARIO VARILLADO SECO (kg/m ³)	1698.49	1708.80	1705.36
PROMEDIO	1704.22		

Peso unitario varillado seco: 1704,22 kg/m³

Figura 18

Ensayo del peso unitario varillado de la arena gruesa



E. Peso unitario suelto-agregado grueso

Tabla 19

Peso unitario suelto-agregado grueso

MUESTRA	1	2	3
VOLUMEN DEL RECIPIENTE (cm3)	9574	9574	9574
PESO DEL RECIPIENTE (gr)	6220	6220	6220
PESO DEL RECIPIENTE + MUESTRA HUMEDA	20410	20290	20290
PESO DE LA MUESTRA HUMEDA	14190	14070	14070
PESO UNITARIO SUELTO HUMEDO (kg/m3)	1482.1	1469.6	1469.6
HUMEDAD			
RECIPIENTE N°	N°4	N°4	N°4
PESO DEL RECIPIENTE (gr)	335.4	335.4	335.4
PESO DEL RECIPIENTE + MUESTRA HUMEDA	4002.8	4002.8	4002.8
PESO DEL RECIPIENTE + MUESTRA SECA	3982.1	3982.1	3982.1
W	0.00568	0.00568	0.005676
PESO UNITARIO SUELTO SECO (kg/m3)	1473.77	1461.31	1461.31
PROMEDIO	1465.46		

Peso unitario suelto seco: 1465.46 kg/m3

Figura 19

Ensayo del peso unitario varillado de la arena gruesa



F. Peso unitario varillado – agregado grueso

Tabla 20

Peso unitario varillado – agregado grueso

MUESTRA	1	2	3
VOLUMEN DEL RECIPIENTE (cm ³)	9574	9574	9574
PESO DEL RECIPIENTE (gr)	6220	6220	6220
PESO DEL RECIPIENTE + MUESTRA HUMEDA	21510	21430	21380
PESO DE LA MUESTRA HUMEDA	15290	15210	15160
PESO UNITARIO VARILLADO HUMEDO (kg/m ³)	1597.0	1588.7	1583.5
HUMEDAD			
RECIPIENTE N°	N°4	N°4	N°4
PESO DEL RECIPIENTE (gr)	335.4	335.4	335.4
PESO DEL RECIPIENTE + MUESTRA HUMEDA	4002.8	4002.8	4002.8
PESO DEL RECIPIENTE + MUESTRA SECA	3982.1	3982.1	3982.1
W	0.00568	0.00568	0.00568
PESO UNITARIO VARILLADO SECO (kg/m ³)	1588.02	1579.71	1574.52
PROMEDIO		1580.75	

Peso unitario varillado seco: 1580.75 kg/m³

Figura 20

Ensayo del peso unitario varillado del agregado grueso



3.6.4 Etapa 4. diseño de mezcla

Luego de obtener la caracterización de los materiales se procede con el diseño de mezcla por el método ACI 211.

Tabla 21

Caracterización de los materiales

Cemento Portland		
Cemento Portland	TIPO I	
Tipo I ASTM	C- 150	
Peso recomendado	347.12	kg
Peso específico	3.13	gr/cm ³
Factor de cemento	8.17	bolsas
Agregado Grueso		
Tam. Máx Nominal	1"	
Peso unitario seco varillado	1.58	Tn/m ³
Peso unitario suelto	1.47	Tn/m ³

Peso específico (base saturada)	2.90	Tn/m ³
Absorción	0.54	%
Humedad (w)	0.57	%
Agregado fino (Arena gruesa)		
Peso específico (base saturada)	2.57	Tn/m ³
Peso unitario seco varillado	1.70	Tn/m ³
Peso unitario suelto	1.41	Tn/m ³
Absorción	2.97	%
Humedad (w)	2.75	%
Módulo de fineza	3.13	
Agregado fino (escoria de cobre)		
Peso específico (base saturada)	3.33	Tn/m ³
Peso unitario seco varillado	1.77	Tn/m ³
Peso unitario suelto	1.72	Tn/m ³
Absorción	0.19	%
Humedad (w)	0.02	%
Módulo de fineza	3.89	

3.6.4.1. Primer paso. La resistencia promedio se determina calculando en la resistencia en compresión debida.

Tabla 22

Resistencia de la compresión promedio.

F'c	F'cr
< 210	F'c+70
210 -350	F'c+84
> 350	F'c+98

Nota: (Comité 211 de ACI)

$$F'_{cr} = F'c + 84$$

$$F'_{cr} = 210 + 84$$

$$F'_{cr} = 294 \text{ kg/cm}^2$$

F'_{cr} : Resistencia promedio requerida

F'_c : Resistencia a la compresión

3.6.4.2. Segundo paso. Selección del tamaño máximo del agregado, el tamaño máximo nominal del agregado grueso, según el Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento (2020), requiere que los materiales se alineen con las normativas técnicas del Perú. Además, para su adecuada aplicación, dichos materiales no deben exceder los límites específicos que se presentan a continuación.

- Una quinta parte de la menor distancia existente entre los lados del encofrado.
- Un tercio del espesor de la losa, cuando corresponda.
- Tres cuartas partes del espaciamiento mínimo libre entre barras, alambres o ductos.

Para este caso se usará como tamaño máximo nominal un agregado grueso de 1".

3.6.4.3. Tercer paso. Selección del asentamiento (slump). Los valores de asentamiento indicados se aplican cuando el método de consolidación del concreto es mediante vibración. En caso de emplearse procedimientos de consolidación distintos a la vibración, dichos valores pueden incrementarse en aproximadamente 1". Asimismo, los concretos colocados mediante bombeo deben presentar un asentamiento mínimo de 5".

La siguiente tabla del ACI 211 presenta los rangos de asentamiento (slump) recomendados cuando el concreto es consolidado mediante el uso de vibradores.

Tabla 23*Niveles de asentamiento de acuerdo al tipo de estructura*

ASENTAMIENTO PARA DIVERSOS TIPOS DE ESTRUCTURA		
Tipo de Estructuras	Asentamiento (Pulg)	
	Máximo	Mínimo
Zapatas y muros de cimentación reforzados	3"	1"
Cimentación simples y calzaduras	3"	1"
Vigas y muros armados	4"	1"
Columnas	4"	1"
Muros, pavimentos y losas	3"	1"
Concreto ciclópeo	2"	1"

Nota: (Comité 211 de ACI)

Tabla 24*Clasificación por consistencia*

CLASIFICACIÓN POR CONSISTENCIA			
Consistencia	Asentamiento	Trabajabilidad	Método de Compactación
Seca	0-2"	Poco trabajable	Vibración normal
Plástica	3-4"	Trabajable	Vibración ligera chuseado
Fluida o Húmeda	5 a más	Muy trabajable	Chuseado

Nota: (Comité 211 de ACI)

Para la presente investigación se usó el Slump de 3-4"

3.6.4.4. Cuarto paso. Selección del contenido del aire en condiciones normales.

Tabla 25

Tabla para el cálculo del contenido de aire atrapado

CONTENIDO DE AIRE ATRAPADO		
Tamaño máximo nominal del agregado (pulg)	Tamaño máximo nominal del agregado (mm)	Aire atrapado
3/8"	9,5	3.0
1/2"	12,5	2.5
3/4"	19	2.0
1"	25	1.5
1 1/2"	37,5	1.0
2"	50	0.5
3"	75	0.3
6"	150	0.2

Nota: (Comité 211 de ACI)

El aire atrapado es de 1.5%.

3.6.4.5. Quinto paso. Selección del volumen de agua de diseño. La cantidad de agua por unidad de volumen de concreto necesaria para obtener el asentamiento deseado, está sujeto al tamaño máximo, perfil, textura y granulometría de los agregados, así como de la cantidad de aire incorporado, no siendo apreciablemente afectada por la cantidad de cemento. El volumen de agua por m³. Agua en litros/m³ para TNM de agregados y consistencia indicada.

Tabla 26*Tabla para calcular la cantidad de agua*

VOLUMEN UNITARIO DE AGUA									
Asentamiento	Agua en l/m ³ para los tamaños máximos nominales de agregado grueso								
	Consistencia indicados								
1"=25mm	3/8"	1/2"	3/4"	1"	1 1/2"	2"	3"	4"	
Concreto sin aire incorporado									
1"a 2"	207	199	190	179	166	154	130	113	
3"a 4"	228	216	205	193	181	169	145	124	
6"a 7"	243	228	216	202	190	178	160	---	
Concreto con Aire incorporado									
1"a 2"	181	175	168	160	150	142	122	107	
3"a 4"	202	193	184	175	165	157	133	119	
6"a 7"	216	205	197	184	174	166	154	---	

Nota: (Comité 211 de ACI)

El contenido de agua es de 193 Litros.

3.6.4.6. Sexto paso: Selección de la relación agua-cemento:**Tabla 27***Tabla de relación agua cemento*

RELACIÓN AGUA - CEMENTO POR RESISTENCIA		
F'cr (28 días) kg/cm ²	Concreto sin aire incorporado	Concreto con aire incorporado
150	0,80	0,71
200	0,70	0,61
210	0,68	0,59
250	0,62	0,53
280	0,57	0,48
300	0,55	0,46
350	0,48	0,40
400	0,43	
420	0,41	
450	0,38	

Nota: (Comité 211 de ACI)

Para hallar el valor de la relación a/c se tendrá que interpolar

$$280 = 0,57$$

$$294 = x$$

$$300 = 0,55$$

$$\frac{294 - 280}{x - 0.57} = \frac{300 - 280}{0.55 - 0.57}$$

$$X = 0.556$$

Por lo tanto, la relación agua/cemento es de 0.56.

3.6.4.7. Séptimo paso, determinación del contenido de cemento. Para determinar la cantidad de cemento necesaria por unidad de volumen de concreto, se hará dividiendo la cantidad de agua de mezclado por la relación agua/cemento.

$$\text{Contenido de cemento } \left(\frac{kg}{m^3} \right) = \frac{\text{Agua de mezclado } \left(\frac{kg}{m^3} \right)}{\text{relación } \frac{a}{c} \text{ para } F_{cr}}$$

$$\text{Contenido de cemento} = \frac{193}{0.556} = 347.12 \text{ kg/m}^3$$

3.6.4.8. Octavo paso, determinación del contenido de agregado grueso. Una adecuada trabajabilidad del concreto puede lograrse cuando los agregados poseen el mismo tamaño máximo nominal y una gradación apropiada. En la tabla se detallan las medidas sugeridas para el volumen de los agregados, destacando para el volumen de los agregados, destacando que, para una operación continua, el volumen de agregado gruesas medidas que, metro cúbico de concreto está únicamente vinculado al tamaño máximo nominal y al módulo de finura del agregado fino, que en este caso es 3.13. una operación continua, el volumen agregado grueso por metro cúbico de concreto está únicamente vinculado al tamaño máximo nominal y al módulo fineza del agregado fino, que en este caso es 3.13.

Tabla 28*Cálculo de volumen de agregado*

PESO DEL AGREGADO GRUESO POR UNIDAD DE VOLUMEN DEL CONCRETO					
Tamaño Máximo Nominal del Agregado Grueso (pulgadas)	Tamaño Máximo Nominal del Agregado Grueso (mm)	Volumen de agregado grueso, en condición seca y compactada, por unidad de volumen de concreto, para distintos valores del módulo de fineza del agregado fino.			
		2.40	2.60	2.80	3.00
3/8"	9,5	0.50	0.48	0.46	0.44
1/2"	12,5	0.59	0.57	0.55	0.53
3/4"	19	0.66	0.64	0.62	0.60
1"	25	0.71	0.69	0.67	0.65
1 1/2"	37,5	0.76	0.74	0.72	0.70
2"	50	0.78	0.76	0.74	0.72
3"	75	0.81	0.79	0.77	0.75
6"	150	0.87	0.85	0.83	0.81

Nota: (Comité 211 de ACI)

Para hallar el factor del agregado grueso se tendrá que interpolar

$$3.13 = X$$

$$3.00 = 0.65$$

$$2.80 = 0.67$$

$$\frac{3.00 - 2.80}{0.65 - 0.67} = \frac{3.13 - 3.00}{X - 0.65}$$

$$X = 0.637$$

$$\text{Cantidad de A. G (kg)} = (\text{Vol. A. G de la tabla}) \times (\text{P. U. S. V del A. G en Kg/m}^3)$$

$$\text{Cantidad de Agregado Grueso (kg)} = 0.637 \times 1580.75 = 1006.46 \text{ kg}$$

3.6.4.9. Noveno paso. Determinación de los volúmenes absolutos correspondientes al cemento, al agua de diseño, al contenido de aire, y a los agregados grueso y fino.

Volumen del cemento:

$$Cemento = \frac{Peso}{Peso\ específico\ del\ cemento} (m^3)$$

$$Cemento = \frac{347.12}{3.13 \times 1000} = 0.111\ m^3$$

Volumen del agua:

$$Agua = \frac{Peso}{Peso\ específico\ del\ agua} (m^3)$$

$$Agua = \frac{193}{1000} = 0.193\ m^3$$

Volumen del aire:

$$Agua = 0.015\ m^3$$

Volumen del agregado grueso:

$$Agregado\ grueso = \frac{Peso}{Peso\ específico\ del\ agregado\ grueso} (m^3)$$

$$Agregado\ grueso = \frac{1006.46}{2.90 \times 1000} = 0.347\ m^3$$

Para establecer el peso del agregado fino se sigue el siguiente procedimiento: en primer lugar, se determinan los volúmenes de los materiales que integran un metro cúbico de concreto, dividiendo el peso de cada componente entre su peso específico; en el caso del aire, su volumen se obtiene al dividir su porcentaje entre 100. Luego, mediante la diferencia con respecto al volumen total del concreto, se calcula el volumen correspondiente al agregado fino. Finalmente, este volumen se multiplica por su peso específico, obteniéndose así el peso del agregado fino por metro cúbico de concreto.

Volumen del agregado fino:

$$V.A.F = 1m^3 - \sum (Vol. Cemento + Vol. Agua + Vol. Aire + Vol. Agregado grueso)$$

$$V.A.F = 1 - (0.347 + 0.015 + 0.193 + 0.111) = 0.334\ m^3$$

$$Peso\ del\ agregado\ fino: Vol. A.F \times Peso\ específico\ de\ la\ A.F\ (g/cm^3) \times 1000$$

$$P.A.F = 0.334 \times 2568 = 857.71 \text{ kg}$$

3.6.4.10. Décimo paso. Determinación de los valores de diseño del cemento, agua aire agregados finos y gruesos.

$$\text{Cemento} = 347.12 \text{ kg}$$

$$\text{Agua} = 193 \text{ kg}$$

$$\text{Agregado fino (arena)} = 857.71 \text{ kg}$$

$$\text{Agregado grueso} = 1006.46 \text{ kg}$$

3.6.4.11. Onceavo paso. Corrección de los valores de diseño por humedad de los agregados.

A) Peso agregado fino corregido = Peso del agregado fino * (1 + Humedad del agregado fino / 100)

$$857.71 \times \left(1 + \frac{2.75}{100}\right) = 881.30 \text{ kg}$$

B) Peso del agregado grueso corregido = Peso del agregado grueso * (1 + Humedad del agregado grueso / 100)

$$1006.46 \times \left(1 + \frac{0.57}{100}\right) = 1012.17 \text{ kg}$$

3.6.4.12. Doceavo paso. Aporte de humedad de los agregados

A) Agregado fino:

$$\text{Agua del A. F} = \text{Peso del A. F corregido} \times \left(\frac{\% \text{Humedad} - \% \text{Absorción}}{100}\right)$$

$$881.30 \times \left(\frac{2.75 - 2.97}{100}\right) = -1.94 \text{ LT}$$

B) Agregado Grueso:

$$\text{Agua del A. G} = \text{Peso del A. G corregido} \times \left(\frac{\% \text{Humedad} - \% \text{Absorción}}{100}\right)$$

$$1012.17 \times \left(\frac{0.54 - 0.57}{100}\right) = +0.28 \text{ LT}$$

C) Agua neta:

$$\text{Agua Neta} = \text{Agua de diseño} - (\text{Agua de A. F} + \text{Agua del A. G})$$

$$\text{Agua Neta} = 193 - (-1.94 + 0.28) = 191.34 \text{ LT}$$

3.6.4.13. Treceavo paso. Cálculo de nueva relación agua/cemento:

$$\text{Relación agua/cemento} = \frac{191.34}{347.12} = 0.551$$

3.6.4.14. Catorceavo paso. Pesos y volúmenes corregidos por humedad:

Cemento: 347.12 kg – 0.111 m³

Agua: 191.34 kg – 0.191 m³

Agregado grueso: 1012.17 kg – 0.349 m³

Agregado fino: 881.30 kg – 0.343 m³

3.6.4.15. Quinceavo paso. Diseño de mezcla:

$$1:2.54:2.92:0.55$$

Al realizar la mezcla con la relación agua/cemento corregido se observó que por trabajabilidad no se obtenía el Slump requerido, por lo que la nueva relación a/c es de 0.59.

3.6.4.16. Dieciseisavo paso. Nuevo diseño de mezcla

Diseño de mezcla patrón:

$$1:2.54:2.92:0.59$$

Diseño de mezcla con 20% de escoria de cobre como sustituto del Agregado fino:

$$1:2.03:2.92:0.49:0.59$$

Diseño de mezcla con 30% de escoria de cobre como sustituto del Agregado fino:

$$1:1.78:2.92:0.74:0.59$$

Diseño de mezcla con 40% de escoria de cobre como sustituto del Agregado fino:

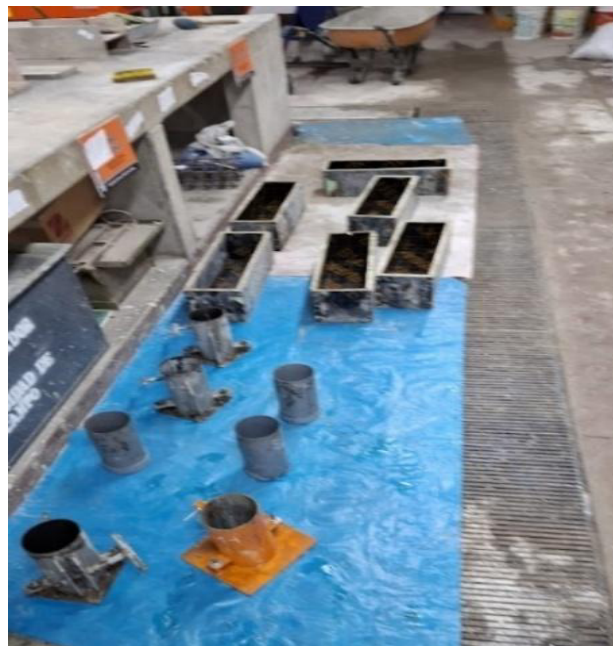
$$1:1.52:2.92:0.99:0.59$$

3.6.5 Etapa 5. habilitación de moldes para elaborar los especímenes.

Antes de realizar el vaciado de concreto en los moldes, estos se deben habilitar para recibir el concreto, según las normas NTP 339.183 Y ASTM C192 los moldes deben tener un desmoldante para facilitar el desencofrado. Se seleccionará una varilla lisa de 5/8"x60cm, un martillo de goma con un peso de 0.6kg $\pm$ 0.2kg, plancha o paleta, pala y un recipiente (batea de metal o carretilla).

Figura 21

Moldes de encofrado para probetas cilíndricas y tipo vigas

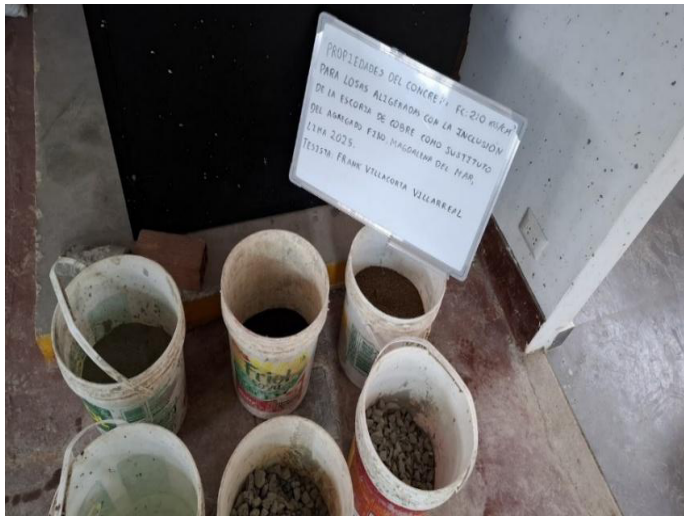


3.6.6 Etapa 6 - elaboración de especímenes

Luego de tener el diseño de mezcla se inicia con el pesaje de los materiales dependiendo del diseño a realizar.

Figura 22

Materiales habilitados para iniciar la mezcla

**Figura 23**

Mezcla de concreto



3.6.7 Etapa 7 - ensayos de concreto fresco

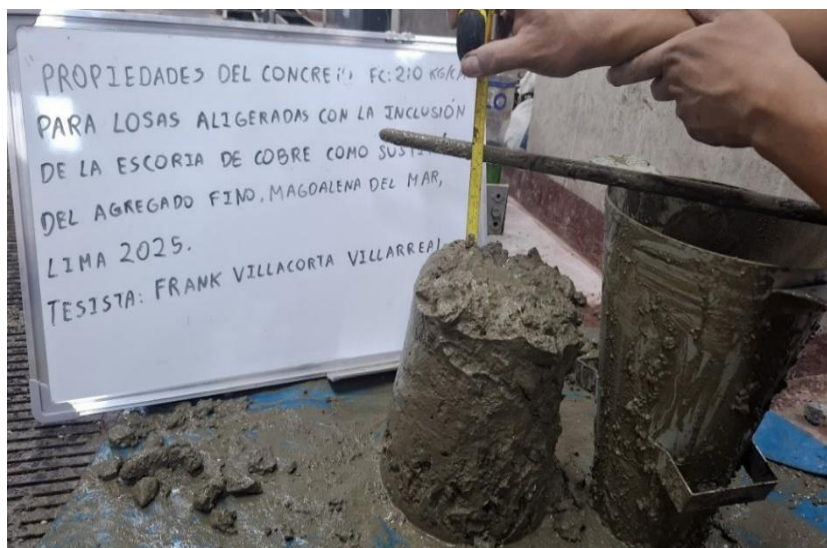
3.6.7.1. Slump. De acuerdo con la norma NTP 339.035, este ensayo se orienta a la evaluación de la fluidez del concreto. El procedimiento consiste en llenar el cono de Abrams en tres capas, cada una equivalente aproximadamente a un tercio de su volumen total, las cuales se compactan mediante 25 penetraciones con una varilla lisa de 5/8" de diámetro y cerca de 60

cm de longitud. En la capa final, la superficie debe nivelarse hasta quedar al ras del molde. Posteriormente, el cono se retira en un intervalo de 5 a 10 segundos y se coloca de forma invertida junto a la muestra, con el fin de medir la diferencia de altura entre el molde y la parte superior del concreto.

La incorporación de la escoria de cobre como sustituto del agregado fino reduce la fluidez del concreto, debido a que sus partículas son más angulares, pesadas y con menor capacidad de retener agua en comparación con la arena natural.

Figura 24

Verificación del slump



3.6.7.2. Peso unitario. Para la realización de este ensayo se aplican los procedimientos establecidos en las normas NTP 339.035 y ASTM C 138. El método consiste en llenar el recipiente de medición hasta aproximadamente un tercio de su capacidad y compactar dicha capa de concreto mediante 25 golpes distribuidos de manera uniforme con la barra de compactación. A continuación, se continúa el llenado hasta alcanzar cerca de las dos terceras partes del recipiente, repitiendo el proceso de compactación con otros 25 golpes. Finalmente, el molde se llena hasta rebosar y se compacta nuevamente aplicando 25 golpes con la barra; el

material excedente se elimina utilizando la barra como elemento de enrase. Posteriormente, se registra el peso del recipiente con el concreto y el peso del recipiente vacío, anotando los valores con una aproximación de 0.05 kg (0.1 lb).

Formula:

$$P.U.C = \left(\frac{Pt - Pm}{Vm} \right)$$

Donde:

Pt: Peso total [kg].

Pm: Peso del molde [kg].

Vm: Volumen del molde [cm³].

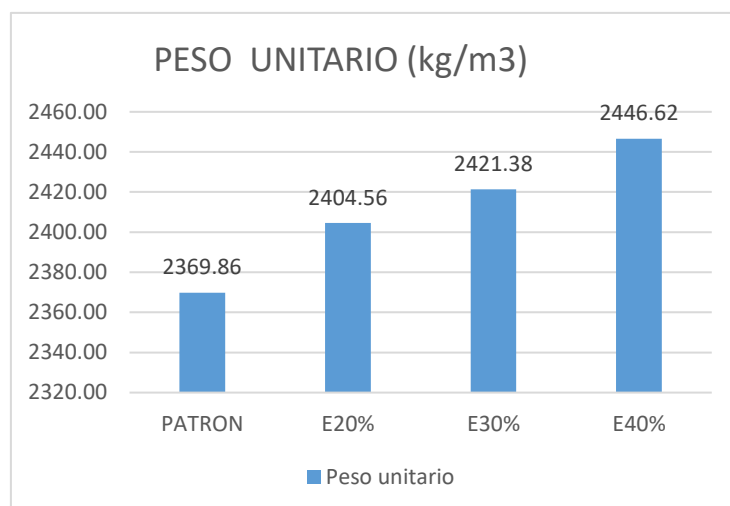
Figura 25

Ensayo del peso unitario



Tabla 29*Peso unitario*

Nombre	Diámetro	Área	Altura	Volumen	Peso	Peso unitario	%
	m	m ²	m	m ³	kg	kg/m ³	
PATRON	20.4	326.84	29.10	0.01	22.54	2369.86	
E20%	20.4	326.84	29.10	0.01	22.87	2404.56	1.46
E30%	20.4	326.84	29.10	0.01	23.03	2421.38	2.17
E40%	20.4	326.84	29.10	0.01	23.27	2446.62	3.24

Figura 26*Peso unitario*

3.6.8 Etapa 8 - elaboración de especímenes cilíndricos y vigas prismáticas

3.6.8.1 Especímenes cilíndricos. Con la ayuda de las herramientas seleccionadas y basados en la norma NTP 339.183 en la cual nos indica el procedimiento para iniciar con el llenado del molde con la mezcla, se inicia colocando el concreto en 3 etapas, en cada etapa se compacta con la varilla de 5/8" por 25 veces en forma horaria y antihoraria, luego de terminar la tercera capa se golpea el molde con el martillo de goma aproximadamente 10 veces para después retirar la mezcla que sobresale del molde. En total se realizaron 36 muestras, 3 y 6

testigos de cada adición (E0%, E20%, E30% y E40%) para ensayarlas de 7 y 28 días respectivamente.

Figura 27

Colocación de la mezcla en moldes



Figura 28

Compactación con la varilla



3.6.8.2 Especímenes de vigas prismáticas. Con la ayuda de las herramientas seleccionadas y basados en la norma NTP 339.183, en este caso el molde para las vigas es 6"x6" en su sección transversal y con una longitud de 21", se realizará 3 capas y para determinar el número de golpes por capa se divide el área superior de la viga entre 14 cm², después de terminar cada capa se golpeará ligeramente unas 10 a 15 veces, con el fin de eliminar los vacíos y burbujas de aire que puedan haber quedado atrapadas. En total se realizaron 24 muestras de concreto de 3 testigos por cada adición (E0%, E20%, E30% y E40%) para ensayarlas a 7 y 28 días.

Figura 29

Colocación de la mezcla en moldes de vigas



3.6.9 Etapa 9 - desencofrado

Con la ayuda de las herramientas seleccionadas, basados en la norma NTP 339.183, y luego de esperar 24 horas de la preparación de los testigos se procede al desencofrado y rotulado para la identificación de probetas y vigas.

Figura 30*Desencofrado de moldes***3.6.10 Etapa 10 – curado y fraguado**

Basados en la norma NTP 339.183 y luego del desencofrado de los testigos se procede al curado, consiste en sumergirlos en agua por el periodo de 7 y 28 días a una temperatura ambiente, dependiendo del tipo de muestra dependerá el periodo sumergido.

El tiempo de fraguado depende de su finura y de la presencia de óxidos metálicos, en nuestro caso, la presencia del óxido de calcio y óxido de aluminio al interactuar con los compuestos del cemento, tiende a acelerar el tiempo de fraguado inicial.

Figura 31*Curado de probetas***3.6.11 Etapa 11- ensayo de concreto endurecido:**

3.6.11.1. Resistencia a la compresión. Conforme a lo establecido en las normas NTP 339.034 y ASTM C-39, el ensayo de resistencia a la compresión se realiza una vez concluido el proceso de curado, asegurando que los especímenes se mantengan protegidos frente a impactos, bajas temperaturas y pérdidas de humedad. Durante la etapa de carga, la velocidad aplicada debe mantenerse dentro del rango de 0.20 a 0.30 MPa/seg (2.0 a 3.0 kg/cm²/seg). Asimismo, las prensas empleadas en el ensayo deben ser calibradas cada 18 meses de acuerdo con la norma ASTM E-4. Finalmente, se establece que el promedio obtenido de cada grupo de tres ensayos consecutivos de resistencia a la compresión sea igual o mayor que el valor de f'_c especificado. Asimismo, ningún resultado individual de resistencia puede ser inferior al f'_c en más de 35 kg/cm².

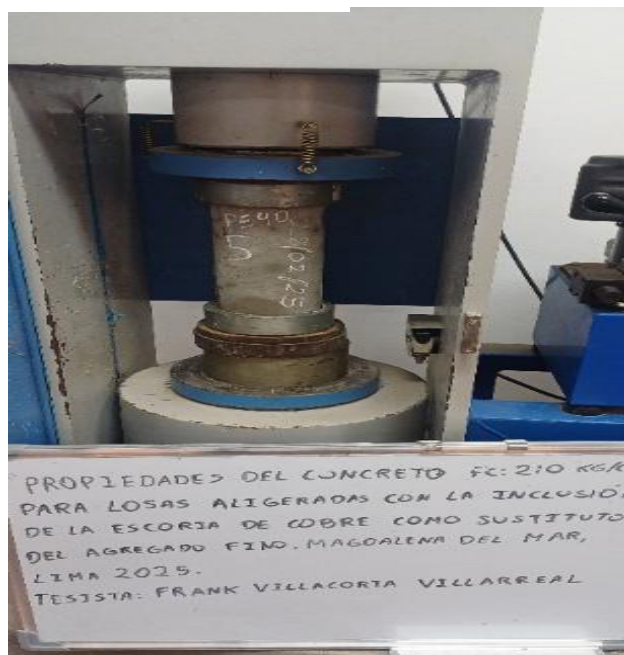
Formula a utilizar:

$$F'C = \frac{P}{A} \left(\frac{KG}{CM^2} \right)$$

Donde:

P: Carga (kg)

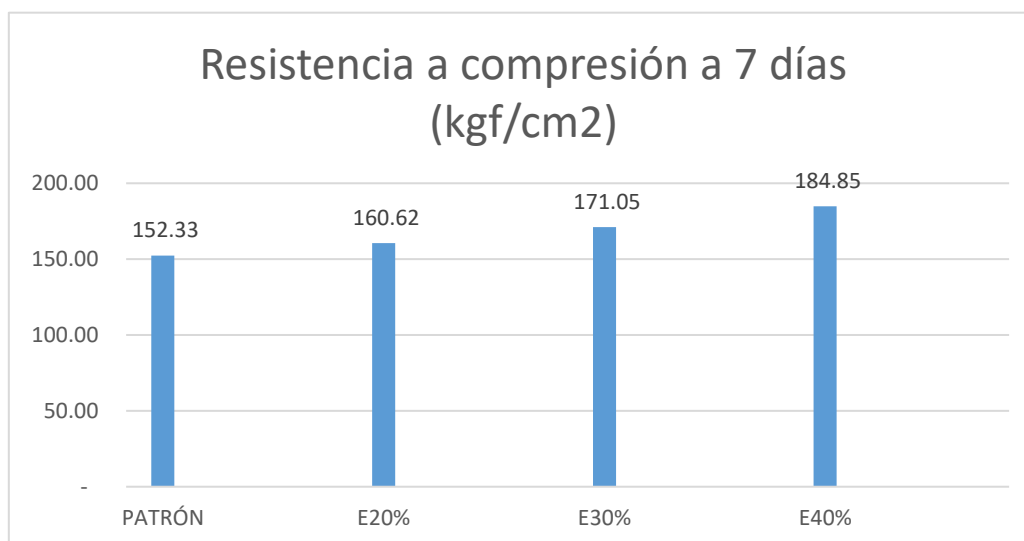
A: Área de la base (cm²)

Figura 32*Ensayo de resistencia a compresión*

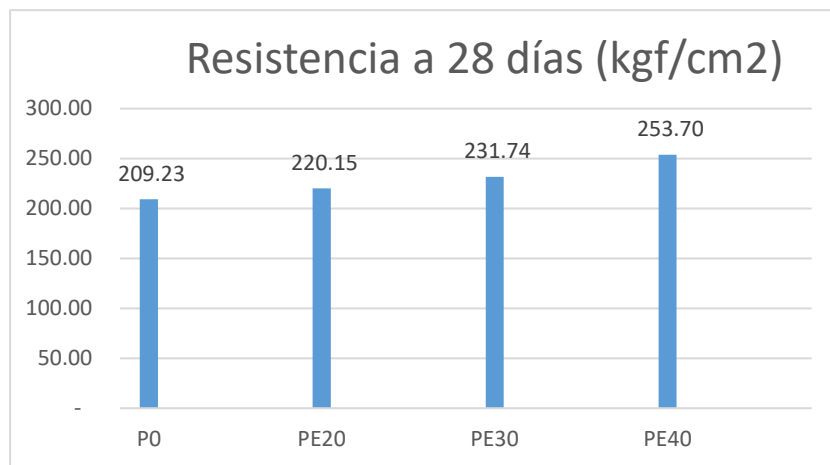
Resistencia a la compresión por diseño a la edad de 7 días.

Tabla 30*Resistencia a la compresión a los 7 días*

Ítem	Muestra	Edad de curado días	Resistencia obtenida kgf/cm2	Resistencia promedio kgf/cm2	%
PATRÓN	P 1	7.00	146.93	152.33	
	P 2	7.00	149.84		
	P 3	7.00	160.20		
E20%	PE20% 1	7.00	161.46	160.62	5.45
	PE20% 2	7.00	155.59		
	PE20% 3	7.00	164.81		
E30%	PE30% 1	7.00	168.33	171.05	12.29
	PE30% 2	7.00	173.34		
	PE30% 3	7.00	171.49		
E40%	PE40% 1	7.00	192.80	184.85	21.35
	PE40% 2	7.00	182.74		
	PE40% 3	7.00	179.01		

Figura 33*Resistencia a la compresión a los 7 días***Tabla 31***Resistencia a la compresión a los 28 días*

Ítem	Muestra	Edad de curado	Resistencia obtenida	Resistencia promedio	%
		días	kgf/cm2	kgf/cm2	
Patrón	P 4	28.00	212.42	209.23	
	P 5	28.00	210.23		
	P 6	28.00	205.05		
E20%	PE20% 4	28.00	218.15	220.15	5.22
	PE20% 5	28.00	220.55		
	PE20% 6	28.00	221.74		
E30%	PE30% 4	28.00	236.44	231.74	10.76
	PE30% 5	28.00	229.29		
	PE30% 6	28.00	229.48		
E40%	PE40% 4	28.00	248.06	253.70	21.25
	PE40% 5	28.00	252.69		
	PE40% 6	28.00	260.33		

Figura 34*Resistencia a la compresión a los 28 días*

3.6.11.2. Resistencia a la flexión. Siguiendo los criterios establecidos en la norma ASTM C-78, el ensayo se ejecuta mediante el método de aplicación de carga en los tercios de la luz. En este contexto, el módulo de rotura equivale aproximadamente a un valor comprendido entre el 10 % y el 20 % de la resistencia a la compresión del concreto. Respecto al procedimiento operativo, las probetas, luego de ser extraídas de la cámara de curado, son limpiadas y posteriormente colocadas en el equipo destinado para el ensayo. El espécimen se rota sobre uno de sus lados con respecto a la posición de moldeo y se ubica correctamente centrado sobre los apoyos. Luego, se ajusta el sistema de carga para que coincida con la dirección de la fuerza aplicada. En la etapa inicial del ensayo, el bloque de carga se apoya sobre la zona central de la superficie de la probeta y se aplica una carga preliminar comprendida entre el 3 % y el 6 % de la carga máxima prevista. A continuación, el esfuerzo se incrementa de forma continua y con una velocidad uniforme hasta que se produce la falla del espécimen.

Para hallar el módulo de rotura se usa la siguiente formula:

$$MR = \frac{PL}{bd^2}$$

Donde:

MR: Módulo de rotura del concreto en kg/cm2

P: Carga máxima aplicada en kg

L: Longitud de luz libre entre apoyos en cm

b: Ancho de la viga en cm

d: Altura de la viga en cm.

Figura 35

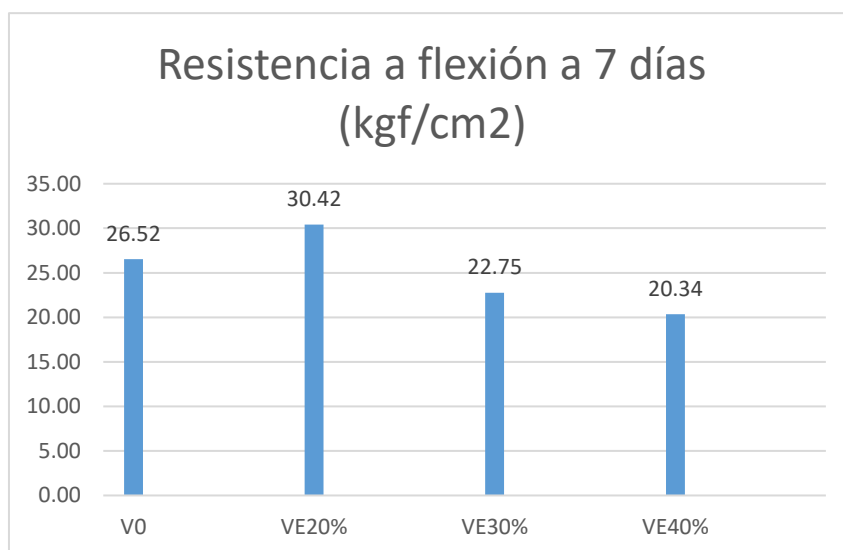
Ensayo de resistencia a flexión



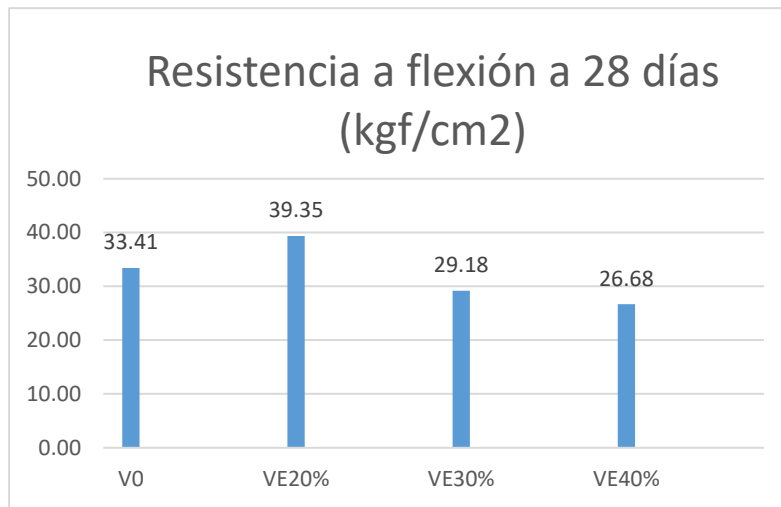
Tabla 32

Resistencia a la flexión por diseño a la edad de 7 días

Ítem	Muestra	Edad de curado días	Resistencia obtenida kgf/cm ²	Resistencia promedio kgf/cm ²	%
PATRÓN	V1	7	25.97	26.52	
	V2	7	26.94		
	V3	7	26.66		
E20%	VE20%-1	7	30.77	30.42	14.70
	VE20%-2	7	30.93		
	VE20%-3	7	29.56		
E30%	VE30%-1	7	23.08	22.75	-14.23
	VE30%-2	7	22.69		
	VE30%-3	7	22.47		
E40%	VE40%-1	7	20.75	20.34	-23.32
	VE40%-2	7	19.90		
	VE40%-3	7	20.36		

Figura 36*Resistencia a la flexión a los 7 días***Tabla 33***Resistencia a la flexión por diseño a la edad de 28 días*

Ítem	Muestra	Edad de curado días	Resistencia obtenida kgf/cm2	Resistencia promedio kgf/cm2	%
PATRÓN	V4	28	32.35	33.41	
	V5	28	34.37		
	V6	28	33.52		
E20%	VE20%-4	28	39.66	39.35	17.78
	VE20%-5	28	38.57		
	VE20%-6	28	39.83		
E30%	VE30%-4	28	29.52	29.18	-12.67
	VE30%-5	28	28.94		
	VE30%-6	28	29.08		
E40%	VE40%-4	28	27.19	26.68	-20.17
	VE40%-5	28	26.46		
	VE40%-6	28	26.37		

Figura 37*Resistencia a la flexión a los 28 días*

3.6.11.3. Permeabilidad. Según las indicaciones del comité ACI Committee 522 (2010), el procedimiento para el ensayo de permeabilidad es que después de que tan pronto sean retirados de la cámara de curado estos sean limpiados y llevados al permeámetro , primero se deberá colocar la muestra saturada de hormigón en el acrílico, colocarlos en el permeámetro , llenar totalmente con agua la muestra hasta que se desborde por el tubo de salida, cerrar la válvula y posteriormente llenar el agua hasta el tope del acrílico, abrir la válvula y cronometrar el tiempo que tarda el agua en pasar de un extremo al otro, luego reemplazar los datos en la ecuación de Darcy para carga variable.

Formula:

$$k = \left(\frac{l \cdot a}{t \cdot x \cdot A} \right) \times \ln \left(\frac{h_1}{h_2} \right)$$

Donde:

k: Coeficiente de permeabilidad [cm/s].

l: Altura de muestra [cm].

A: Área de muestra[cm²].

a: Área de la tubería [cm²].

t: Tiempo desde h1 a h2 [s].

h1: Altura de la columna de agua medida del nivel de referencia [cm].

h2: Altura de la tubería de salida con respecto al nivel de referencia [cm].

Figura 38

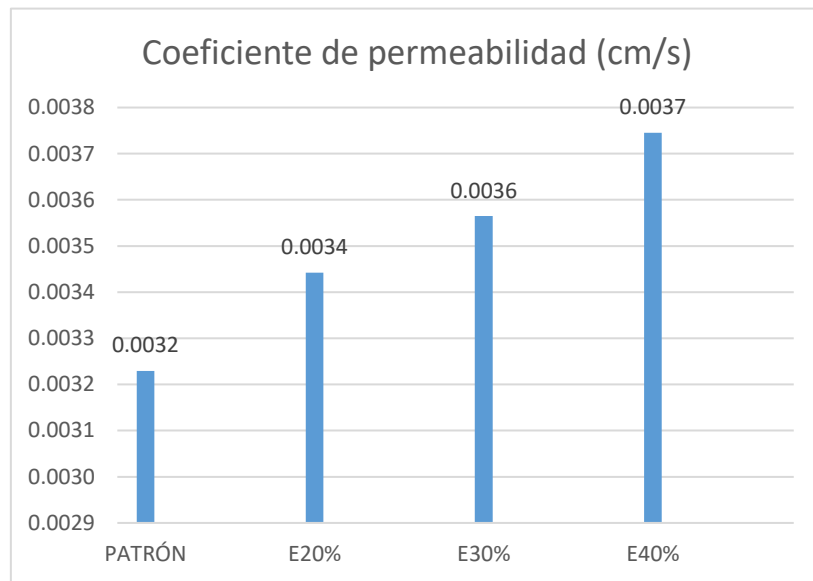
Permeámetro



Tabla 34

Coefficiente de permeabilidad

Ítem	Muestra	Edad de curado	Coefficiente de permeabilidad	Coefficiente de permeabilidad promedio	%
		días	k (cm/s)	cm/s	
PATRÓN	P 7	28	0.0033	0.0032	
	P 8	28	0.0032		
	P 9	28	0.0032		
E20%	PE20% 7	28	0.0034	0.0034	6.60
	PE20% 8	28	0.0033		
	PE20% 9	28	0.0036		
E30%	PE30% 7	28	0.0036	0.0036	10.39
	PE30% 8	28	0.0036		
	PE30% 9	28	0.0035		
E40%	PE40% 7	28	0.0039	0.0037	15.99
	PE40% 8	28	0.0038		
	PE40% 9	28	0.0036		

Figura 39*Coeficiente de permeabilidad*

3.7 Análisis de datos

Los datos obtenidos por medio de los ensayos realizados en el laboratorio serán procesados por medio de programa Excel para realizar un cuadro informativo con tablas descriptivas y gráficos de barras que serán exhibidas para un entendimiento al leyente.

IV. RESULTADOS

A continuación, se presentará los resultados obtenidos mediante los ensayos realizados en el laboratorio siguiendo la norma ACI.211 y ACI Committee 522 (2010).

4.1. Indicador 1: permeabilidad

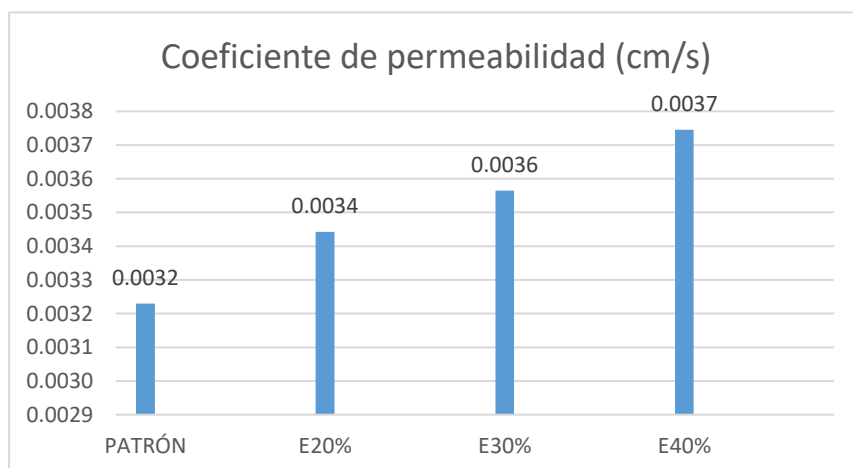
Tabla 35

Coeficiente de permeabilidad a la edad de 28 días

Ítem	Coeficiente de permeabilidad	%
	cm/s	
PATRÓN	0.0032	
E20%	0.0034	6.60
E30%	0.0036	10.39
E40%	0.0037	15.99

Figura 40

Coeficiente de permeabilidad a la edad de 28 días



Interpretación: Según la tabla 35 y figura 40, se observa que la tendencia del coeficiente de permeabilidad es creciente mientras aumenta la dosificación, alcanzando un valor máximo de 0.0037 cm/s con la dosificación E40%, lo que representa un aumento del 15.99% más con respecto al patrón, por lo que eso indica que alcanzó una mayor permeabilidad.

Esto se debe porque la escoria de cobre presenta una geometría más angular, mayor rugosidad superficial y módulo de fineza, menor cantidad de finos y absorción, por lo que genera una mayor cantidad de agua libre que al evaporarse deje poros vacíos, además, la falta de finos incrementa la cantidad de poros, favoreciendo la circulación del agua a través del concreto.

4.2. Indicador 2: peso unitario

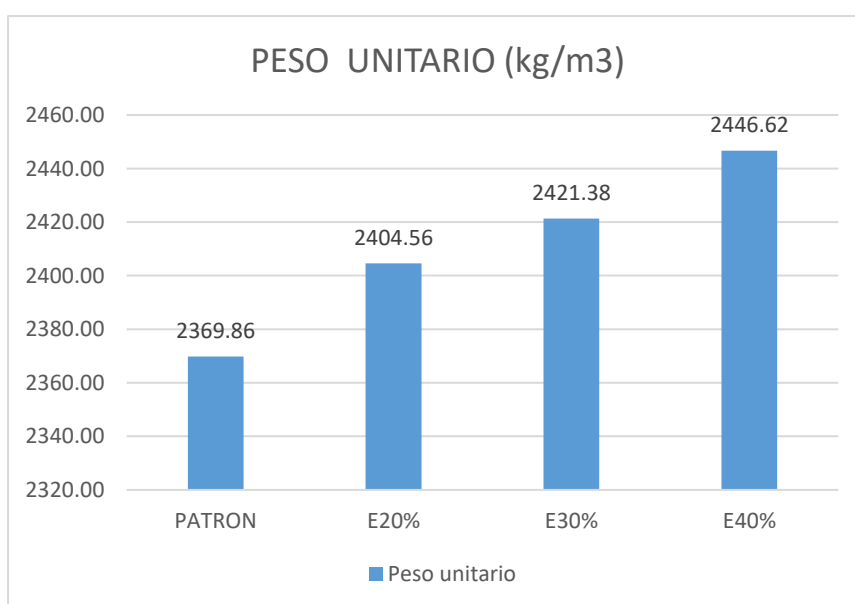
Tabla 36

Peso unitario

Nombre	Peso unitario	%
	kg/m ³	
PATRON	2369.86	
E20%	2404.56	1.46
E30%	2421.38	2.17
E40%	2446.62	3.24

Figura 41

Peso unitario



Interpretación: Según la tabla 36 y figura 41, se observa que la tendencia del peso unitario es en aumento conforme aumenta la dosificación, alcanzando un valor máximo de 2446.62 kg/m³ con la dosificación E40%, lo que representa un aumento del 3.24 % respecto al patrón. Todas las dosificaciones presentan valores de peso unitario mayores al patrón dado que la escoria de cobre tiene un mayor peso específico.

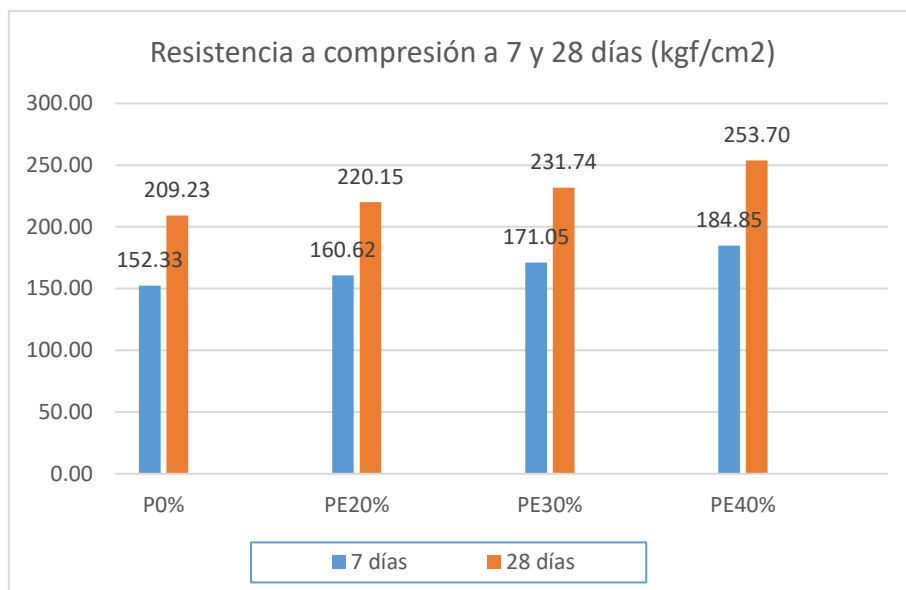
Esto se debe porque la escoria de cobre tiene un mayor peso específico que la arena gruesa, por lo que genera un mayor peso a la estructura que trae como consecuencia aumentar el dimensionamiento en las áreas de elementos de concreto y acero. Además, esto influye de manera positiva a la resistencia mecánica del concreto.

4.3. Indicador 3: resistencia a la compresión

Tabla 37

Resistencia a la compresión a los 7 y 28 días

Ítem	Resistencia a compresión a 7 días (kgf/cm ²)	% (7 días)	Resistencia a compresión a 28 días (kgf/cm ²)	% (28 días)
PATRÓN	152.33		209.23	
E20%	160.62	5.45	220.15	5.22
E30%	171.05	12.29	231.74	10.76
E40%	184.85	21.35	253.70	21.25

Figura 42*Resistencia a la compresión a los 7 y 28 días*

Interpretación: De acuerdo con la tabla 37 y la figura 42, se aprecia que la resistencia a la compresión a los 28 días presenta una tendencia creciente, alcanzando su valor máximo de 253.70 kg/cm² con la dosificación E40 %, lo que equivale a un incremento del 21.25 % en comparación con el concreto patrón. De manera similar, en los especímenes evaluados a los 7 días se observa un comportamiento ascendente, registrándose un valor máximo de 184.85 kg/cm² también con la dosificación E40 %, lo que representa un aumento del 21.35 % respecto al patrón. Según la práctica o ensayos en tecnología de concreto es usual esperar que la mínima resistencia a compresión a una edad de curado de 7 días debe ser como mínimo el 65% respecto a 28 días, en nuestro caso se tiene un 72.8 %, cumpliendo con lo indicado. Además, la escoria de cobre al tener menor pasante N°200, mayor peso específico, módulo de fineza y peso unitario seco varillado, mejora la transmisión de esfuerzo a compresión.

El aumento de la resistencia a compresión se da porque la escoria de cobre al tener un alto contenido de óxido de hierro (30% a 40%), mayor densidad y angularidad, generan una mayor resistencia y transferencia de esfuerzos.

4.4. Indicador 4: resistencia a la flexión

Resistencia a la flexión por diseño a las edades de 7 y 28 días.

Tabla 38

Resistencia a la flexión a los 7 y 28 días

Ítem	Resistencia a flexión a 7 días (kgf/cm ²)	% (7días)	Resistencia a flexión a 28 días (kgf/cm ²)	% (28 días)
PATRÓN	26.52		33.41	
E20%	30.42	14.70	39.35	17.78
E30%	22.75	-14.23	29.18	-12.67
E40%	20.34	-23.32	26.68	-20.17

Figura 43

Resistencia a la flexión a los 7 y 28 días

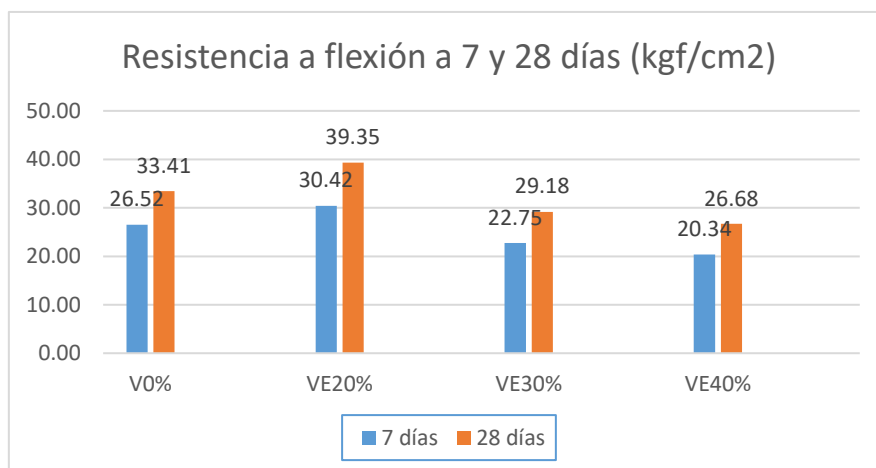


Tabla 39*Correlación entre resistencia a compresión con la resistencia a flexión N°1*

CORRELACIÓN ENTRE RESISTENCIA A COMPRESIÓN CON LA RESISTENCIA A FLEXIÓN					
DESCRIPCIÓN	RESISTENCIA A COMPRESIÓN	$M_r = K_x \sqrt{f_c}$	$M_r = K_x \sqrt{f_c}$	RESISTENCIA A FLEXIÓN	CUMPLE
	F'C(kg/cm ²)	K=2	K=2.7	Mr(kg/cm ²)	
PATRÓN	209.23	28.93	39.05	33.41	SÍ
	152.33	24.68	33.32	26.52	SÍ
E20%	220.15	29.67	40.06	39.35	SÍ
	160.62	25.35	34.22	30.42	SÍ
E30%	231.74	30.45	41.10	29.18	NO
	171.05	26.16	35.31	22.75	NO
E40%	253.70	31.86	43.01	26.68	NO
	184.85	27.19	36.71	20.34	NO

Tabla 40*Correlación entre resistencia a compresión con la resistencia a flexión N°2*

CORRELACIÓN ENTRE RESISTENCIA A COMPRESIÓN CON LA RESISTENCIA A FLEXIÓN					
DESCRIPCIÓN	RESISTENCIA A COMPRESIÓN	10%FC	20%FC	RESISTENCIA A FLEXIÓN	CUMPLE
	F'c(kg/cm ²)	F'c(kg/cm ²)	F'c(kg/cm ²)	Mr(kg/cm ²)	
PATRÓN	209.23	20.92	41.85	33.41	SI
	152.33	15.23	30.47	26.52	SI
E20%	220.15	22.02	44.03	39.35	SI
	160.62	16.06	32.12	30.42	SI
E30%	231.74	23.17	46.35	29.18	SI
	171.05	17.11	34.21	22.75	SI
E40%	253.70	25.37	50.74	26.68	SI
	184.85	18.49	36.97	20.34	SI

Interpretación: Según la tabla 38 y figura 43, se observa que la resistencia a la flexión a los 7 días y 28 días mejoran con una dosificación de hasta E20% alcanzando valores máximos de 30.42 kg/cm² y 39.35 kg/cm² respectivamente, estos representan un aumento del 14.70 % y 17.78 % respectivamente respecto al patrón. Sin embargo, luego de superar dicha dosificación se tiene una tendencia decreciente.

Respecto a la resistencia a compresión, según la tabla 39, se tienen que valores de la resistencia a la flexión con la dosificación del concreto patrón y el 20% de escoria de cobre cumple con lo indicado por la formula $M_r = Kx\sqrt{f'_c}$, donde “K” es una constante comprendida entre 2 a 2.7, y según Sánchez de Guzmán (2001) (tabla 40), el porcentaje de la resistencia a flexión está entre el 10% y 20% de la resistencia a la compresión, se observa que todos los valores cumplen.

La resistencia a la flexión disminuye después del 20% de escoria de cobre, se da porque la escoria al tener menor pasante N°200, mayor módulo de fineza y excesiva angularidad, la mezcla tiende a ser menos trabajable y más complicado al compactar, generando vacíos y microfisuración temprana que afectan a la flexión.

V. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

La discusión presenta los resultados obtenidos en relación con los objetivos planteados y los compara con los hallazgos de otros autores que han desarrollado investigaciones similares. De esta manera, es posible contrastar los valores de permeabilidad, peso unitario, resistencia a la compresión y resistencia a la flexión.

Indicador: Permeabilidad

Se obtuvieron como resultados diferentes coeficientes de permeabilidad de acuerdo a las distintas adiciones de porcentajes de escoria de cobre, para el E0%, E20%, E30% y E40%, en donde presentaron coeficientes de 0.0032 cm/s, 0.0034 cm/s, 0.0036 cm/s y 0.0037 cm/s respectivamente, es decir, mientras va aumentando la dosificación de la escoria de cobre, va aumentando la permeabilidad del concreto. Como también Antaurco (2019), obtuvo el óptimo porcentaje con el 100% de la inclusión de la escoria de cobre en reemplazo del 10% del agregado fino teniendo un valor 0.48cm/s que es 16.50% más que el concreto patrón. De manera similar, Ocaña y Rodríguez (2023), obtuvieron el óptimo porcentaje adicionando el 7% de fibra de acero molido y 7% de escoria de cobre al agregado fino, teniendo un valor de 1.40 cm/s que es 49% más con respecto al concreto patrón. Sin embargo, estos estudios se realizaron bajo el enfoque de un concreto permeable, donde el tener mayor cantidad de vacíos es un objetivo del estudio, mientras que nuestra investigación es para un concreto convencional, por lo tanto, en comparación con los antecedentes, tenemos el máximo valor de 0.0037 cm/s con un 15.99 % más que el concreto patrón.

Indicador: Peso unitario

Se obtuvieron distintos pesos unitarios de acuerdo a las diferentes dosificaciones de escoria de cobre E0%, E20%, E30% y E40% en donde se tuvo una densidad de 2369.86 kg/m³, 2404.56 kg/m³, 2421.38 kg/m³ y 2446.62 kg/m³ respectivamente, es decir, mientras va aumentando la dosificación de la escoria de cobre va aumentando el peso unitario. Como

también Quispe y Ortiz (2020), obtuvieron valores de los pesos unitarios que se encuentran entre 2361.02 kg/m³ a 2431.16 kg/m³ (Arequipa) y 2372.18 kg/m³ a 2423.47 kg/m³ (Ilo), los mayores pesos fueron con la sustitución del E30% por el agregado fino, la relación que tienen con respecto al concreto patrón es 2.97% (Arequipa) y 2.42% (Ilo). Por lo que la presente investigación si concuerda con Quispe y Ortiz (2020), ya que tenemos el máximo valor de 2446.62 kg/m³ que representa un 3.24 % más que el concreto patrón.

Indicador: resistencia a la compresión

La resistencia a la compresión medida a los 28 días presenta variaciones asociadas a los diferentes porcentajes de escoria de cobre incorporados en las mezclas. En este sentido, las dosificaciones E0 %, E20 %, E30 % y E40 % alcanzaron valores de 209.23 kg/cm², 220.15 kg/cm², 231.74 kg/cm² y 253.70 kg/cm², respectivamente, lo que demuestra una tendencia creciente de la resistencia conforme aumenta el contenido de escoria de cobre. Este comportamiento es concordante con los resultados obtenidos por Flores y Fuentes (2021), quienes reportaron una resistencia de 272.5 kg/cm² al emplear un 30 % de escoria de cobre, equivalente a un incremento del 14.5 % en comparación con el concreto de referencia. La diferencia entre Flores y Fuentes (2021) es que adicionan escoria de cobre mientras nuestra investigación lo sustituye, por lo tanto, nuestro resultado se asemeja a lo indicado por Flores y Fuentes (2021) ya que mientras aumentamos la escoria de cobre, la resistencia a compresión tiende a crecer, esto se da porque realizamos la sustitución con E40% obteniendo como resultado la mayor resistencia a compresión, ya que tenemos el máximo valor de 253.7 kg/cm² que representa un 21.25 % más con respecto al concreto patrón.

Indicador: Resistencia a la flexión

A los 28 días de curado, los valores de resistencia a la flexión muestran un comportamiento dependiente del contenido de escoria de cobre en la mezcla. En particular, las dosificaciones E0 %, E20 %, E30 % y E40 % registraron resistencias de 33.41 kg/cm², 39.35

kg/cm², 29.18 kg/cm² y 26.68 kg/cm², respectivamente, evidenciando variaciones asociadas a los distintos porcentajes incorporados. Esto indica que la resistencia a la flexión presenta un incremento hasta la dosificación E20 %, alcanzando su valor máximo, y posteriormente disminuye conforme se incrementa el contenido de escoria de cobre. Quispe y Ortiz (2020), obtuvieron los mayores valores de resistencia a flexión que son de 72.35 kg/cm² (Arequipa) y 73.25 kg/cm² (Ilo), estos resultados fueron con el reemplazo del 10% de EC por el agregado fino, la relación que tienen con respecto al concreto patrón es 13.89% y 8.78% con los agregados de Arequipa e Ilo respectivamente. Por lo que la presente investigación difiere con Quispe y Ortiz (2020), ya que tenemos el máximo valor de 39.35 kg/cm² que representa un 17.78 % más que el concreto patrón, esto se da porque la relación a/c de Quispe y Ortiz (2020) es 0.62 a diferencia de la presente investigación que es de 0.585, lo que afecta a la resistencia a la flexión.

VI. CONCLUSIONES

- 6.1. En la presente investigación se evaluó que la escoria de cobre como sustituto del agregado fino no influye sustancialmente en la permeabilidad dado que al aumentar la dosificación aumenta la permeabilidad alcanzando un valor máximo de 0.0037 cm/s con la dosificación E40%, lo que representa un aumento del 15.99% más con respecto al patrón, según lo que se indica en la tabla 35 y gráfico 40. Por lo que según los resultados obtenidos se comprende que la mejor dosificación para efectos de permeabilidad es la dosificación E20%.
- 6.2 En la presente investigación se comprobó que la escoria de cobre como sustituto del agregado fino no influye sustancialmente en el peso unitario dado que al aumentar la dosificación aumenta el peso unitario alcanzando un valor máximo de 2446.62 kg/m³ con la dosificación E40%, lo que representa un aumento del 3.24 % respecto al patrón, según lo que se indica en la tabla 36 y gráfico 41. Por lo que según los resultados obtenidos se comprende que la mejor dosificación para efectos de peso unitario es la dosificación E20%.
- 6.3. A partir de los resultados obtenidos en esta investigación, se analizó que la escoria de cobre como sustituto del agregado fino influye positivamente en la resistencia a compresión, observándose un incremento continuo de esta propiedad conforme se eleva su porcentaje de dosificación. En particular, la mezcla E40 % alcanzó el mayor valor de resistencia, con 253.70 kg/cm², lo que equivale a un aumento del 21.25 % en comparación con el concreto patrón, tal como se aprecia en la tabla 37 y la figura 42. En este contexto, los resultados permiten establecer que la dosificación E40 % resulta la más conveniente desde el punto de vista de la resistencia a la compresión, aportando mejoras tanto en la capacidad portante del concreto como en su durabilidad frente a procesos de desgaste y degradación.

- 6.4. En esta investigación se estimó que la escoria de cobre como sustituto del agregado fino influye positivamente en la resistencia a flexión del concreto hasta un determinado nivel de dosificación. Al incrementar el contenido de escoria de cobre, la resistencia a la flexión aumenta, alcanzando un valor máximo de 39.35 kg/cm^2 con la dosificación E20 %, lo que equivale a un incremento del 17.78 % respecto al concreto patrón, tal como se observa en la tabla 38 y la figura 43. No obstante, al superar dicho porcentaje, se evidencia una tendencia descendente en esta propiedad. En función de estos resultados, se concluye que la dosificación E20 % es la más adecuada para la resistencia a la flexión, lo cual favorece la capacidad del concreto para soportar mayores cargas antes de presentar deformaciones y fallas por flexión.
- 6.5. En la presente investigación se determinó que la utilización de escoria de cobre como sustituto del agregado fino influye de manera positiva sobre las propiedades mecánicas del concreto, evidenciándose un incremento tanto en la resistencia a la compresión como en la resistencia a la flexión con la dosificación E20 %. Asimismo, se concluyó que dicha incorporación no afecta sustancialmente en las propiedades físicas.

VII. RECOMENDACIONES

- 7.1. Para una mejor permeabilidad del concreto con escoria de cobre se recomienda añadir un aditivo plastificante cuya dosificación debe ser evaluada en futuras investigaciones para mejorar el concreto con E20%, que evitará una mayor filtración del agua a las losas aligeradas, cisternas y piscinas que están en constante contacto con el agua de manera permanente o esporádico.
- 7.2. Para mejorar el peso unitario sin afectar la resistencia a la compresión y flexión se recomienda usar aditivos de aire incorporado cuya dosificación debe ser evaluada en futuras investigaciones para mejorar el concreto con E20%, que permitirá reducir la cantidad de agua necesaria, mejorando la trabajabilidad y permitiendo disminuir la relación agua/cemento sin sacrificar la resistencia final.
- 7.3. Se recomienda continuar con futuras investigaciones en las que se continúen sustituyendo con mayores porcentajes con el fin de lograr un mejor entendimiento del comportamiento de la resistencia a la compresión y flexión.
- 7.4. Se recomienda continuar investigando cómo la escoria de cobre influye a las propiedades del concreto en resistencias diferentes a 210 kg/cm².

VIII. REFERENCIAS

- Antaurco, D. (2019). *Diseño de concreto permeable para pavimento rígido usando escoria de cobre en el distrito Independencia, Ancash, 2019* [Tesis de pregrado, Universidad César Vallejo]. Repositorio Institucional UCV. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/44401>
- Aparicio, C. (2014). *Uso de material reciclado de la industria del cobre en la producción de concreto* [Tesis de pregrado, Universidad Pontificia Bolivariana]. Repositorio Institucional UPB. <http://hdl.handle.net/20.500.11912/7287>
- ASTM International. (2023). *Annual book of ASTM standards*. ASTM International. <https://www.astm.org>
- ACI Committee 522. (2010). *Report on pervious concrete (ACI 522R-10)*. American Concrete Institute.
- Amaral, M. (1999). *Estudio del reaprovechamiento de la escoria de cobre como agregado grueso en concreto de cemento Portland* [Tesis de maestría, Universidad Federal de Santa Catarina]. Repositorio Institucional UFSC. <https://repositorio.ufsc.br>
- Baldoceda, J. y Vega, D. (2019). *Diseño de concreto de alta densidad reforzado con escoria de cobre para atenuar la transmisión de la radiación ionizante*. [Tesis de pregrado, Universidad Ricardo Palma]. Repositorio Institucional URP. <https://hdl.handle.net/20.500.14138/2737>
- Bhoi, A., Patil, Y., Patil, H. y Kadam, M. (2018). Feasibility Assessment of Incorporating Copper Slag as a Sand Substitute to Attain Sustainable Production Perspective in Concrete. *Advances in Materials Science and Engineering*, 201(1), 6502890. <https://doi.org/10.1155/2018/6502890>

- Castro, F. (28 de junio de 2023). Como meta país debemos llegar a producir 5 millones de tn de cobre al 2030. *Rumbo Minero*. <https://www.rumbominero.com/portada2/minpro-2023-obre-al-2030/>
- Comisión Chilena del Cobre. (2022). *Informe de tendencias del mercado del cobre: Proyecciones para los años 2022 y 2023 (Tercer trimestre de 2022)*. Gobierno de Chile. <https://www.cochilco.cl>
- CONSTRUNEIC. (15 de octubre de 2023). *Losa aligerada: ¿Qué son? Funciones y ventajas*. <https://construneic.com/concreto-armado/losa-aligerada/>
- Cruz, M. (2014). *Estudio de la resistencia y reología de hormigones con adición de escorias de cobre como sustituto del árido fino* [Tesis de pregrado, Universidad de Málaga]. Repositorio Institucional UMA. <http://hdl.handle.net/10630/8264>
- Dávila, D., Arce, V. y Falcón, R. (2004). La valoración de las escorias metalúrgicas como recursos industriales. *Revista del Instituto de investigación de la Facultad de minas, metalurgia y ciencias geográficas*, 7(13), 26-30. <https://doi.org/10.15381/iigeo.v7i13.513>
- Escobar, J. y Cuervo, Á. (2008). Validez de contenido y juicio de expertos: Una aproximación a su utilización. *Avances en medición*, 6(1), 27-36. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=2981181>
- European Committee for Standardization. (2008). *EN 12620:2002+A1:2008 Aggregates for concrete*. European Committee for Standardization.
- European Committee for Standardization. (2021). *EN 206:2013+A2:2021 Concrete: Specification, performance, production and conformity*. European Committee for Standardization.
- Flores, J. y Fuentes, J. (2021). *Diseño de concreto $f'c=210$ kg/cm² adicionando escoria de cobre para mejorar su resistencia a la compresión, Tarapoto 2021* [Tesis de pregrado,

- Universidad César Vallejo]. Repositorio Institucional UCV.
<https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/68138>
- Hanco, A. (2021). *Aprovechamiento de la escoria de fundición de cobre en la elaboración de adoquines de tránsito peatonal comparado con los tradicionales* [Tesis de pregrado, Universidad Andina del Cusco]. Repositorio Institucional UAC.
<https://repositorio.uandina.edu.pe/item/24316488-1d6c-4c00-995d-a342fa85cff3>
- Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, P. (2010). *Metodología de la investigación* (5.ª ed.). McGraw-Hill / Interamericana Editores. <https://surl.li/zblwdv>
- Herrera, L. (2018). *Utilización de escoria de cobre en remplazo a la arena para ladrillos de hormigón* [Tesis de pregrado, Universidad Técnica Federico Santa María]. Repositorio Institucional USM. <https://repositorio.usm.cl/handle/11673/44913>
- Instituto Nacional de Calidad. (2023). *Catálogo de Normas Técnicas Peruanas*. Centro de Información y Documentación (CID) - INACAL. <https://www.gob.pe/inacal>
- Instituto Nacional de Normalización. (2025). *NCh3894:2025 Áridos artificiales en base a escorias de fundición del proceso pirometalúrgico del cobre – Clasificación, caracterización y orientaciones para su uso como material de construcción*. Instituto Nacional de Normalización.
- Japanese Standards Association. (2018). *JIS A 5011-3:2018 Slag aggregate for concrete — Part 3: Ferronickel slag aggregate*. Japanese Standards Association.
- Kruger, J. (1995). *Consideraciones sobre posibles aplicaciones de la escoria a partir de sus características*. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 7(3), 145–152.
- Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. (2020). *Norma Técnica E.060: Concreto armado*. Reglamento Nacional de Edificaciones. Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento.

- Neithalath, N., Weiss, J., y Olek, J. (2003). *Development of acoustic absorption materials using enhanced porosity concrete*. Claisse, P. A., Ganjian, E., & Halkes, R. (Eds.), Proceedings of the International Conference on Sustainable Construction Materials and Technologies. Cement and Concrete Research.
- Ocaña, E. y Rodríguez L. (2023). *Influencia de la adición de fibra de acero molido y escoria de cobre en las propiedades físico mecánicas de un concreto permeable para pavimento rígido, Cajamarca 2023* [Tesis de pregrado, Universidad Privada del Norte]. Repositorio Institucional UPN. <https://repositorio.upn.edu.pe/item/317893fb-7ea4-4fee-b961-ab46c74c5220>
- Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico. (2015). Manual de Frascati 2015: Guía para la recopilación y presentación de información sobre la investigación y el desarrollo experimental. ODCE Publishing. <https://doi.org/10.1787/9789264239012-es>
- Orizola, S. (2006). *Uso de escoria de cobre en cementos* [Tesis de pregrado, Universidad de Chile]. Repositorio Institucional UCHILE. <https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/104451>
- Portal Minero Ediciones. (2006). *Manual general de minería y metalurgia*. <https://dokumen.pub/manual-general-de-mineria-y-metalurgia.html>
- Puertas, F. (1993). Escorias de alto horno: Composición y comportamiento hidráulico. *Materiales de Construcción*, 43(229), 37–48.
- Quispe, F. y Ortiz, M. (2020). *Análisis del comportamiento del concreto con la inclusión de escoria de cobre utilizando agregado de las canteras Icuy de Ilo y la poderosa de Arequipa*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa]. Repositorio Institucional UNSA.

https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/UNSA_792ac8e63f7c6ab9aff6c6806c825e83

Selltiz, C., Wrightsman, L., y Cook, S. (1980). *Métodos de investigación en las relaciones sociales* (9.^a ed.). Ediciones Rialp.

Sánchez de Guzmán, D. (2001). *Tecnología del concreto y mortero*. Pontificia Universidad Javeriana. <https://books.google.com/books?id=EWq-QPJhsRAC>

Sociedad Nacional de Minería, Petróleo y Energía. (2018). *Memoria Anual 2018: Panorama y producción de la minería en el Perú*. SNMPE. <https://www.snmpe.org.pe>

Tejada, G., Sarmiento, Z. y Huisa, C. (2019). Sustitución de los Agregados por Escoria de Cobre en la Elaboración del Concreto. *Ciencia & Desarrollo*, 12, 67-70. <https://doi.org/10.33326/26176033.2008.12.254>

U.S. Geological Survey. (2022). *Mine production of copper in China from 2010 to 2021 (in 1,000 metric tons)* [Gráfico]. En Statista. <https://www.statista.com/statistics/254847/copper-production-of-chile/>

Vásquez, K. (2013). *Obtención del mejor método para elaborar el diseño de mezclas de concreto, al comparar los métodos ACI Fuller, Walker y módulo de fineza de la combinación de los agregados, para una resistencia a la compresión $f_c = 210 \text{ kg/cm}^2$ (a los 28 días)* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Cajamarca]. Repositorio Institucional UNC. <https://repositorio.unc.edu.pe/items/85e2c4f1-a963-41a0-8a88-8247147cabb2>

Wang, D., Wang, Q., y Huang, Z. (2020). *Reuse of copper slag as a supplementary cementitious material: Reactivity and safety*. *Resources, Conservation and Recycling*, 162, 105037. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2020.105037>

IX. ANEXOS

ANEXO A: MATRIZ DE CONSISTENCIA

MATRIZ DE CONSISTENCIA					
TITULO:	PROPIEDADES DEL CONCRETO F'C= 210 KG/CM2 PARA LOSAS ALIGERADAS CON INCLUSION DE LA ESCORIA DE COBRE COMO SUSTITUTO DEL AGREGADO FINO, MAGDALENA DEL MAR, LIMA 2025.				
PROBLEMA	OBJETIVO	HIPOTESIS	VARIABLES	DIMENSIONES	INDICADORES
PROBLEMA GENERAL	OBJETIVO GENERAL	HIPOTSIS GENERAL	INDEPENDIENTE		
¿Como la inclusión de la escoria de cobre como sustituto del agregado fino influye en las propiedades del concreto f'c=210 kg/cm2 para losas aligeradas, Magdalena del Mar, Lima 2025?	Determinar como la inclusión de la escoria de cobre como sustituto del agregado fino influye en las propiedades del concreto f'c=210 kg/cm2 para losas aligeradas, Magdalena del Mar, Lima 2025.	La inclusión de la escoria de cobre como sustituto del agregado fino influye positivamente en las propiedades del concreto f'c=210 kg/cm2 para losas aligeradas, Magdalena del Mar, Lima 2025.	VI: La inclusión de la escoria de cobre como sustituto del agregado fino.	D1: Dosificación de escoria de cobre	0% 20% 30% 40%
				D2: Propiedades de la escoria de cobre	Hierro (35.5 %) Calcio (17.4 %) Silicio (12.7 %) Aluminio (7.12 %) Cobre (0.67 %)
PROBLEMAS ESPECIFICOS	OBJETIVOS ESPECIFICOS	HIPOTESIS ESPECIFICOS	DEPENDIENTE		
Pe1: ¿De qué manera la inclusión de la escoria de cobre como sustituto del agregado fino influye en la permeabilidad del concreto f'c=210 kg/cm2 para losas aligeradas, Magdalena del Mar, Lima 2025?	Oe1: Evaluar de qué manera la inclusión de la escoria de cobre como sustituto del agregado fino influye en la permeabilidad del concreto f'c=210 kg/cm2 para losas aligeradas, Magdalena del Mar, Lima 2025.	He1: La inclusión de la escoria de cobre como sustituto del agregado fino influye sustancialmente en la permeabilidad en del concreto f'c=210 kg/cm2 para losas aligeradas, Magdalena del Mar, Lima 2025.	VD: Las propiedades del concreto f'c=210kg/cm2 para losas aligeradas.	D3: Propiedades físicas	-Permeabilidad

Pe2: ¿De qué forma la inclusión de la escoria de cobre como sustituto del agregado fino influye en el peso unitario del concreto $f'c=210$ kg/cm ² para losas aligeradas, Magdalena del Mar, Lima 2025?	Oe2: Comprobar de que forma la inclusión de la escoria de cobre como sustituto del agregado fino influye en el peso unitario del concreto $f'c=210$ kg/cm ² para losas aligeradas, Magdalena del Mar, Lima 2025.	He2: La inclusión de la escoria de cobre como sustituto del agregado fino influye considerablemente en el peso unitario del concreto $f'c=210$ kg/cm ² para losas aligeradas, Magdalena del Mar, Lima 2025.			-Peso unitario
Pe3: ¿Como la inclusión de la escoria de cobre como sustituto del agregado fino influye en la resistencia a la compresión del concreto $f'c=210$ kg/cm ² para losas aligeradas, Magdalena del Mar, Lima 2025?	Oe3: Analizar como la inclusión de la escoria de cobre como sustituto del agregado fino influye en la resistencia a la compresión del concreto $f'c=210$ kg/cm ² para losas aligeradas, Magdalena del Mar, Lima 2025.	He3: La inclusión de la escoria de cobre como sustituto del agregado fino influye apreciablemente en la resistencia a la compresión del concreto $f'c=210$ kg/cm ² para losas aligeradas, Magdalena del Mar, Lima 2025.		D4: Propiedades mecánicas	-Resistencia a la compresión.
Pe4: ¿En qué medida la inclusión de la escoria de cobre como sustituto del agregado fino influye en la resistencia a la flexión del concreto $f'c=210$ kg/cm ² para losas aligeradas, Magdalena del Mar, Lima 2025?	Oe4: Estimar en qué medida la inclusión de la escoria de cobre como sustituto del agregado fino influye en la resistencia a la flexión del concreto $f'c=210$ kg/cm ² para losas aligeradas, Magdalena del Mar, Lima 2025.	He4: La inclusión de la escoria de cobre como sustituto del agregado fino influye esencialmente en la resistencia a la flexión del concreto $f'c=210$ kg/cm ² para losas aligeradas, Magdalena del Mar, Lima 2025.			-Resistencia a la flexión

ANEXO B: RESULTADOS DE LOS ENSAYOS A LOS AGREGADOS

TESIS:

PROPIEDADES DEL CONCRETO FC=210 KG/CM² PARA LOSAS ALIGERADAS CON LA INCLUSIÓN DE LA ESCORIA DE COBRE COMO SUSTITUTO DEL AGREGADO FINO, MAGDALENA DEL MAR, LIMA 2025.

TESISTA

FRANK RENZO VILLACORTA VILLARREAL

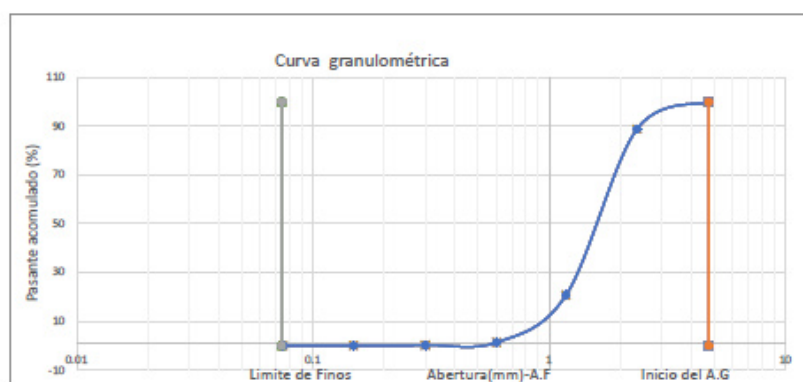
ENSAYO:

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO DE LA ESCORIA DE COBRE

NORMA

NTP 400.012

PESO INICIAL DE LA MUESTRA (gr):		392.2			
TAMIZ	Abertura (mm)	Peso Retenido (gr)	Peso Retenido (%)	Retenido Acumulado (%)	Pasante Acumulado (%)
Pulg.	9.52	0	0.0		
Nº4	4.75	0.1	0.0		100
Nº8	2.36	43.7	11.1	11.2	88.8
Nº16	1.18	267.4	68.2	79.3	20.7
Nº30	0.6	76.10	19.4	98.8	1.2
Nº50	0.3	4.20	1.1	99.8	0.2
Nº100	0.149	0.50	0.1	99.9	0.1
FONDO	0.075	0.20	0.1	100.0	0.00
TOTAL			100.00		
TNM					
MOD.FINEZA			3.89		



TESIS:

PROPIEDADES DEL CONCRETO FC=210 KG/CM² PARA LOSAS ALIGERADAS CON LA INCLUSIÓN DE LA ESCORIA DE COBRE COMO SUSTITUTO DEL AGREGADO FINO, MAGDALENA DEL MAR, LIMA 2025.

TESISTA

FRANK RENZO VILLACORTA VILLARREAL

ENSAYO:

PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN DE LA ESCORIA DE COBRE

NORMA

NTP 400.022 Y NTP 400.021

PESO ESPECÍFICO		
MUESTRAS	1	2
FIOLA Nº	A-1	1
PESO DE LA FIOLA + AGUA (gr)	675.4	677.8
RECIPIENTE Nº	LQ-7	H167
PESO DEL RECIPIENTE (gr)	238.7	412.5
PESO DEL RECIPIENTE + MUESTRA SSS	668.40	777.9
PESO DE LA FIOLA-AGUA-MUESTRA SSS	997.30	933.7
PESO MUESTRA SECA + RECIPIENTE	697.10	777.1
VOLUMEN (CM ³)	137.80	109.50
PESO ESPECÍFICO	3.327	3.330
PROMEDIO	3.328	

ABSORCIÓN	
RECIPIENTE Nº	GP-01
PESO DEL RECIPIENTE	418.30
PESO DEL RECIPIENTE + MUESTRA SSS	1065.90
PESO DEL RECIPIENTE-MUESTRA SECA	1064.7
PESO SECO	648.20
%ABS	0.19

TESIS:

PROPIEDADES DEL CONCRETO FC=210 KG/CM² PARA LOSAS ALIGERADAS CON LA INCLUSIÓN DE LA ESCORIA DE COBRE COMO SUSTITUTO DEL AGREGADO FINO, MAGDALENA DEL MAR, LIMA 2025.

TESISTA:

FRANK RENZO VILLACORTA VILLARREAL

ENSAYO:

PESO UNITARIO SUELTO DE LA ESCORIA DE COBRE

NORMA:

NTP 400.017

MUESTRA	1	2	3
VOLUMEN DEL RECIPIENTE (cm ³)	2830.6	2830.6	2830.6
PESO DEL RECIPIENTE (gr)	2830	2830	2830
PESO DEL RECIPIENTE + MUESTRA HUMEDA	7670	7700	7710
PESO DE LA MUESTRA HUMEDA	4840	4870	4880
PESO UNITARIO SUELTO HUMEDO (kg m ³)	1709.9	1720.5	1724.0
HUMEDAD			
RECIPIENTE N°	J-7	T-1	T-10
PESO DEL RECIPIENTE (gr)	297.3	434.2	230.8
PESO DEL RECIPIENTE + MUESTRA HUMEDA	740.7	929.1	672.2
PESO DEL RECIPIENTE + MUESTRA SECA	740.5	929	672.2
W	0.00045	0.00020	0.00000
PESO UNITARIO SUELTO SECO (kg m ³)	1709.11	1720.14	1724.02
PROMEDIO		1717.76	

TESIS:

PROPIEDADES DEL CONCRETO FC=210 KG/CM² PARA LOSAS ALIGERADAS CON LA INCLUSIÓN DE LA ESCORIA DE COBRE COMO SUSTITUTO DEL AGREGADO FINO, MAGDALENA DEL MAR, LIMA 2025.

TESISTA:

FRANK RENZO VILLACORTA VILLARREAL

ENSAYO:

PESO UNITARIO VARILLADO DE LA ESCORIA DE COBRE

NORMA:

NTP 400.017

MUESTRA	1	2	3
VOLUMEN DEL RECIPIENTE (cm ³)	2830.6	2830.6	2830.6
PESO DEL RECIPIENTE (gr)	2830	2830	2830
PESO DEL RECIPIENTE + MUESTRA HUMEDA	7830	7840	7820
PESO DE LA MUESTRA HUMEDA	5000	5010	4990
PESO UNITARIO VARILLADO HUMEDO (kg m ³)	1768.4	1769.9	1762.9
HUMEDAD			
RECIPIENTE N°	J-7	T-1	T-10
PESO DEL RECIPIENTE (gr)	297.3	434.2	230.8
PESO DEL RECIPIENTE + MUESTRA HUMEDA	740.7	929.1	672.2
PESO DEL RECIPIENTE + MUESTRA SECA	740.5	929	672.2
W	0.00045	0.00020	0.00000
PESO UNITARIO VARILLADO SECO (kg m ³)	1765.61	1769.59	1762.88
PROMEDIO		1766.03	

TESIS:

PROPIEDADES DEL CONCRETO FC=210 KG/CM² PARA LOSAS ALIGERADAS CON LA INCLUSIÓN DE LA ESCORIA DE COBRE COMO SUSTITUTO DEL AGREGADO FINO, MAGDALENA DEL MAR, LIMA 2025.

TESISTA:

FRANK RENZO VILLACORTA VILLARREAL

ENSAYO:

DETERMINACION PASANTE TAMIZ N°200 DE LA ESCORIA DE COBRE

NORMA:

NTP 400.018

MUESTRA	1	2	3
RECIPIENTE N°	J-7	T-1	T-10
PESO DEL RECIPIENTE (gr)	297.3	434.2	230.8
PESO DEL RECIPIENTE + MUESTRA SECA	740.5	929	672.2
PESO DEL RECIPIENTE + MUESTRA SECA LAVADA	740.5	928.7	671.7
PORCENTAJE DE ABSORCIÓN (%)	0	0.06	0.11
PROMEDIO		0.06	

TESIS:

PROPIEDADES DEL CONCRETO FC=210 KG/CM² PARA LOSAS ALIGERADAS CON LA INCLUSIÓN DE LA ESCORIA DE COBRE COMO SUSTITUTO DEL AGREGADO FINO, MAGDALENA DEL MAR, LIMA 2025.

TESISTA:

FRANK RENZO VILLACORTA VILLARREAL

ENSAYO:

HUMEDAD DE LA ESCORIA DE COBRE

NORMA:

NTP 339.127

HUMEDAD			
RECIPIENTE N°	J-7	T-1	T-10
PESO DEL RECIPIENTE (gr)	297.3	434.2	230.8
PESO DEL RECIPIENTE + MUESTRA HUMEDA	740.7	929.1	672.2
PESO DEL RECIPIENTE + MUESTRA SECA	740.5	929	672.2
PESO DE LA MUESTRA HUMEDA	443.4	494.9	441.4
PESO DE LA MUESTRA SECA	443.2	494.8	441.4
W %	0.05	0.02	0.00
PROMEDIO		0.02	

TESIS:

PROPIEDADES DEL CONCRETO FC=210 KG/CM² PARA LOSAS ALIGERADAS CON LA INCLUSIÓN DE LA ESCORIA DE COBRE COMO SUSTITUTO DEL AGREGADO FINO, MAGDALENA DEL MAR, LIMA 2025.

TESISTA

FRANK RENZO VILLACORTA VILLARREAL

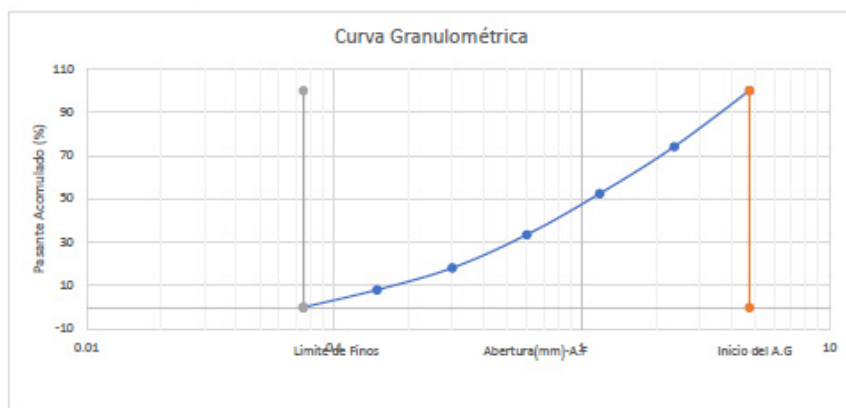
ENSAYO:

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO DE LA ARENA GRUESA

NORMA

NTP 400.012

PESO INICIAL DE LA MUESTRA (gr):		324.8			
TAMIZ	Abertura (mm)	Peso Retenido (gr)	Peso Retenido (%)	Retenido Acumulado (%)	Pasante Acumulado (%)
Pulg.					
3/8"	9.52	0	0.0		
Nº4	4.75	14.2	4.4		100
Nº8	2.36	69.9	21.5	25.9	74.1
Nº16	1.18	70.4	21.7	47.6	52.4
Nº30	0.6	61.20	18.8	66.4	33.6
Nº50	0.3	49.80	15.3	81.7	18.3
Nº100	0.149	32.90	10.1	91.9	8.1
FONDO	0.075	26.30	8.1	100.0	0.0
TOTAL		324.70	99.97		
MOD.FINEZA			3.13		



TESIS:

PROPIEDADES DEL CONCRETO FC=210 KG/CM² PARA LOSAS ALIGERADAS CON LA INCLUSIÓN DE LA ESCORIA DE COBRE COMO SUSTITUTO DEL AGREGADO FINO, MAGDALENA DEL MAR, LIMA 2025.

TESISTA

FRANK RENZO VILLACORTA VILLARREAL

ENSAYO:

PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN DE LA ARENA GRUESA

NORMA

NTP 400.022 Y NTP 400.021

PESO ESPECÍFICO		
MUESTRAS	1	2
FIOLA Nº	SDV NOMBRE	B-07
PESO DE LA FIOLA + AGUA (gr)	661.7	674.7
RECIPIENTE Nº	I-02	LO-7
PESO DEL RECIPIENTE (gr)	264.1	238.7
PESO DEL RECIPIENTE + MUESTRA SSS	729.30	662.4
PESO DE LA FIOLA+AGUA+MUESTRA SSS	950.10	937.4
PESO MUESTRA SECA + RECIPIENTE	717.00	653.1
VOLUMEN (CM3)	176.80	161.00
PESO ESPECÍFICO	2.562	2.574
PROMEDIO	2.568	

ABSORCIÓN	
RECIPIENTE Nº	J-7
PESO DEL RECIPIENTE	297.40
PESO DEL RECIPIENTE + MUESTRA SSS	1149.60
PESO DEL RECIPIENTE+MUESTRA SECA	1125.0
PESO SECO	827.60
%ABS	2.97

TESIS: PROPIEDADES DEL CONCRETO FC=210 KG/CM² PARA LOSAS ALIGERADAS CON LA INCLUSIÓN DE LA ESCORIA DE COBRE COMO SUSTITUTO DEL AGREGADO FINO, MAGDALENA DEL MAR, LIMA 2025.
 TESIS: FRANK RENZO VILLACORTA VILLARREAL
 ENSAYO: PESO UNITARIO SUELTO DE LA ARENA GRUESA
 NORMA: NTP 400.017

MUESTRA	1	2	3
VOLUMEN DEL RECIPIENTE (cm ³)	2830.6	2830.6	2830.6
PESO DEL RECIPIENTE (gr)	2830	2830	2830
PESO DEL RECIPIENTE + MUESTRA HUMEDA	6920	6960	6950
PESO DE LA MUESTRA HUMEDA	4090	4130	4120
PESO UNITARIO SUELTO HUMEDO (kg/m ³)	1444.9	1459.1	1455.5
HUMEDAD			
RECIPIENTE N°	N°42	N°42	N°42
PESO DEL RECIPIENTE (gr)	298.4	298.4	298.4
PESO DEL RECIPIENTE + MUESTRA HUMEDA	660.7	660.7	660.7
PESO DEL RECIPIENTE + MUESTRA SECA	651	651	651
W	0.02751	0.02751	0.02751
PESO UNITARIO SUELTO SECO (kg/m ³)	1406.24	1419.99	1416.55
PROMEDIO	1414.26		

TESIS: PROPIEDADES DEL CONCRETO FC=210 KG/CM² PARA LOSAS ALIGERADAS CON LA INCLUSIÓN DE LA ESCORIA DE COBRE COMO SUSTITUTO DEL AGREGADO FINO, MAGDALENA DEL MAR, LIMA 2025.
 TESIS: FRANK RENZO VILLACORTA VILLARREAL
 ENSAYO: PESO UNITARIO VARILLADO DE LA ARENA GRUESA
 NORMA: NTP 400.017

MUESTRA	1	2	3
VOLUMEN DEL RECIPIENTE (cm ³)	2830.6	2830.6	2830.6
PESO DEL RECIPIENTE (gr)	2830	2830	2830
PESO DEL RECIPIENTE + MUESTRA HUMEDA	7770	7800	7790
PESO DE LA MUESTRA HUMEDA	4940	4970	4960
PESO UNITARIO VARILLADO HUMEDO (kg/m ³)	1745.2	1755.8	1752.3
HUMEDAD			
RECIPIENTE N°	N°42	N°42	N°42
PESO DEL RECIPIENTE (gr)	298.4	298.4	298.4
PESO DEL RECIPIENTE + MUESTRA HUMEDA	660.7	660.7	660.7
PESO DEL RECIPIENTE + MUESTRA SECA	651	651	651
W	0.02751	0.02751	0.02751
PESO UNITARIO VARILLADO SECO (kg/m ³)	1698.49	1708.80	1705.36
PROMEDIO	1704.22		

TESIS: PROPIEDADES DEL CONCRETO FC=210 KG/CM² PARA LOSAS ALIGERADAS CON LA INCLUSIÓN DE LA ESCORIA DE COBRE COMO SUSTITUTO DEL AGREGADO FINO, MAGDALENA DEL MAR, LIMA 2025.
 TESIS: FRANK RENZO VILLACORTA VILLARREAL
 ENSAYO: DETERMINACIÓN PASANTE TAMIZ N°200 DE LA ARENA GRUESA
 NORMA: NTP 400.018

MUESTRA	1
RECIPIENTE N°	N°42
PESO DEL RECIPIENTE (gr)	298.4
PESO DEL RECIPIENTE + MUESTRA SECA	651
PESO DEL RECIPIENTE + MUESTRA SECA LAVA	623.2
PORCENTAJE DE ABSORCIÓN (%)	7.88

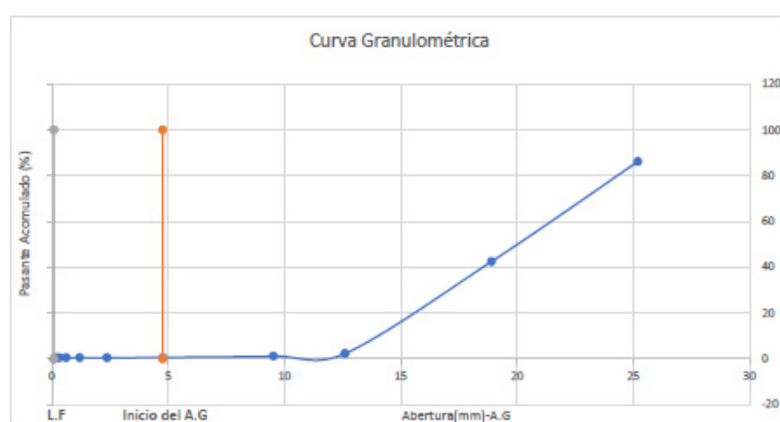
TESIS: PROPIEDADES DEL CONCRETO FC=210 KG/CM² PARA LOSAS ALIGERADAS CON LA INCLUSIÓN DE LA ESCORIA DE COBRE COMO SUSTITUTO DEL AGREGADO FINO, MAGDALENA DEL MAR, LIMA 2025.
 TESIS: FRANK RENZO VILLACORTA VILLARREAL
 ENSAYO: HUMEDAD DE LA ARENA GRUESA
 NORMA: NTP 339.127

RECIPIENTE N°	N°42
PESO DEL RECIPIENTE (gr)	298.4
PESO DEL RECIPIENTE + MUESTRA HUMEDA	660.7
PESO DEL RECIPIENTE + MUESTRA SECA	651
PESO DE LA MUESTRA HUMEDA	362.3
PESO DE LA MUESTRA SECA	352.6
W(%)	2.75

TESIS:

PROPIEDADES DEL CONCRETO FC=210 KG/CM² PARA LOSAS ALIGERADAS CON LA INCLUSIÓN DE LA ESCORIA DE COBRE COMO SUSTITUTO DEL AGREGADO FINO, MAGDALENA DEL MAR, LIMA 2025.TESISTA
ENSAYO:
NORMAFRANK RENZO VILLACORTA VILLARREAL
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO DEL AGREGADO GRUESO
NTP 400.012

PESO INICIAL DE LA MUESTRA (gr):		12163.5			
TAMIZ	Abertura (mm)	Peso Retenido (gr)	Peso Retenido (%)	Retenido Acumulado (%)	Pasante Acumulado (%)
Pulg.					
1 1/2"		0	0.0		100
1"	25.2	1676	13.8	13.8	86.2
3/4"	18.9	5322	43.8	57.5	42.5
1/2"	12.6	4881.5	40.1	97.7	2.3
3/8"	9.52	142.50	1.2	98.8	1.2
Nº4	4.75	75.50	0.6	99.5	0.5
Nº8	2.36	5.00	0.0	99.5	0.5
Nº16	1.18	0.00	0.0	99.5	0.5
Nº30	0.6	0.00	0.0	99.5	0.5
Nº50	0.3	0.00	0.0	99.5	0.5
Nº100	0.149	0.00	0.0	99.5	0.5
FONDO	0.075	61.00	0.5	100.0	0.0
TOTAL		12163.50	100.00		
TNM			1"		
MOD.FINEZA			7.53		



TESIS:

PROPIEDADES DEL CONCRETO FC=210 KG/CM² PARA LOSAS ALIGERADAS CON LA INCLUSIÓN DE LA ESCORIA DE COBRE COMO SUSTITUTO DEL AGREGADO FINO, MAGDALENA DEL MAR, LIMA 2025.TESISTA
ENSAYO:
NORMAFRANK RENZO VILLACORTA VILLARREAL
PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN DEL AGREGADO GRUESO
NTP 400.022 Y NTP 400.021

PESO ESPECÍFICO		
MUESTRAS	1	2
RECIPIENTE Nº	II	GP-01
PESO DEL RECIPIENTE (gr)	350	420.0
PESO DEL RECIPIENTE + MUESTRA SSS AIRE	2710.00	2200.0
PESO MUESTRA SSS SUMERGIDO	1550.00	1170.0
PESO DEL RECIPIENTE+MUESTRA SECA	2700.00	2190.0
VOLUMEN (CM ³)	810.00	610.00
PESO ESPECÍFICO (gr/cm ³)	2.90	2.90
PROMEDIO	2.90	

ABSORCIÓN		
ABSORCIÓN (%)	0.43	0.54

SE TOMA EL VALOR DE 0.54%

TESIS: PROPIEDADES DEL CONCRETO FC=210 KG/CM² PARA LOSAS ALIGERADAS CON LA INCLUSIÓN DE LA ESCORIA DE COBRE COMO SUSTITUTO DEL AGREGADO FINO, MAGDALENA DEL MAR, LIMA 2025.
 TESISTA: FRANK RENZO VILLACORTA VILLARREAL
 ENSAYO: PESO UNITARIO SUELTO DEL AGREGADO GRUESO
 NORMA: NTP 400.017

MUESTRA	1	2	3
VOLUMEN DEL RECIPIENTE (cm ³)	9574	9574	9574
PESO DEL RECIPIENTE (gr)	6220	6220	6220
PESO DEL RECIPIENTE + MUESTRA HUMEDA	20410	20290	20290
PESO DE LA MUESTRA HUMEDA	14190	14070	14070
PESO UNITARIO SUELTO HUMEDO (kg/m ³)	1482.1	1469.6	1469.6
HUMEDAD			
RECIPIENTE N°	N°4	N°4	N°4
PESO DEL RECIPIENTE (gr)	335.4	335.4	335.4
PESO DEL RECIPIENTE + MUESTRA HUMEDA	4002.8	4002.8	4002.8
PESO DEL RECIPIENTE + MUESTRA SECA	3982.1	3982.1	3982.1
W	0.00568	0.00568	0.00568
PESO UNITARIO SUELTO SECO (kg/m ³)	1473.77	1461.31	1461.31
PROMEDIO		1465.46	

TESIS: PROPIEDADES DEL CONCRETO FC=210 KG/CM² PARA LOSAS ALIGERADAS CON LA INCLUSIÓN DE LA ESCORIA DE COBRE COMO SUSTITUTO DEL AGREGADO FINO, MAGDALENA DEL MAR, LIMA 2025.
 TESISTA: FRANK RENZO VILLACORTA VILLARREAL
 ENSAYO: PESO UNITARIO VARILLADO DEL AGREGADO GRUESO
 NORMA: NTP 400.017

MUESTRA	1	2	3
VOLUMEN DEL RECIPIENTE (cm ³)	9574	9574	9574
PESO DEL RECIPIENTE (gr)	6220	6220	6220
PESO DEL RECIPIENTE + MUESTRA HUMEDA	21510	21430	21380
PESO DE LA MUESTRA HUMEDA	15290	15210	15160
PESO UNITARIO VARILLADO HUMEDO (kg/m ³)	1597.0	1588.7	1583.5
HUMEDAD			
RECIPIENTE N°	N°4	N°4	N°4
PESO DEL RECIPIENTE (gr)	335.4	335.4	335.4
PESO DEL RECIPIENTE + MUESTRA HUMEDA	4002.8	4002.8	4002.8
PESO DEL RECIPIENTE + MUESTRA SECA	3982.1	3982.1	3982.1
W	0.00568	0.00568	0.00568
PESO UNITARIO VARILLADO SECO (kg/m ³)	1588.02	1579.71	1574.52
PROMEDIO		1580.75	

TESIS: PROPIEDADES DEL CONCRETO FC=210 KG/CM² PARA LOSAS ALIGERADAS CON LA INCLUSIÓN DE LA ESCORIA DE COBRE COMO SUSTITUTO DEL AGREGADO FINO, MAGDALENA DEL MAR, LIMA 2025.
 TESISTA: FRANK RENZO VILLACORTA VILLARREAL
 ENSAYO: DETERMINACIÓN PASANTE TAMIZ N°200 DEL AGREGADO GRUESO
 NORMA: NTP 400.018

MUESTRA	1
RECIPIENTE N°	N°4
PESO DEL RECIPIENTE (gr)	335.4
PESO DEL RECIPIENTE + MUESTRA SECA	3982.1
PESO DEL RECIPIENTE + MUESTRA SECA LAVADA	3911.5
PORCENTAJE DE ABSORCIÓN (%)	1.94

TESIS: PROPIEDADES DEL CONCRETO FC=210 KG/CM² PARA LOSAS ALIGERADAS CON LA INCLUSIÓN DE LA ESCORIA DE COBRE COMO SUSTITUTO DEL AGREGADO FINO, MAGDALENA DEL MAR, LIMA 2025.
 TESISTA: FRANK RENZO VILLACORTA VILLARREAL
 ENSAYO: HUMEDAD DEL AGREGADO GRUESO
 NORMA: NTP 339.127

RECIPIENTE N°	N°4
PESO DEL RECIPIENTE (gr)	335.4
PESO DEL RECIPIENTE + MUESTRA HUMEDA	4002.8
PESO DEL RECIPIENTE + MUESTRA SECA	3982.1
PESO DE MUESTRA HUMEDA	3667.4
PESO DE MUESTRA SECA	3646.7
W (%)	0.57

ANEXO C

**RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE PERMEABILIDAD, PESO UNITARIO,
RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN Y RESISTENCIA A LA FLEXIÓN.**

FICHA TÉCNICA N°1

UNIVERSIDAD: UNIVERSIDAD NACIONAL FEDERICO VILLARREAL

TESISTA: FRANK RENZO VILLACORTA VILLARREAL

TÍTULO DE INVESTIGACIÓN: PROPIEDADES DEL CONCRETO F'c= 210 KG/CM2 PARA LOSAS ALIGERADAS CON INCLUSIÓN DE LA ESCORIA DE COBRE COMO SUSTITUTO DEL AGREGADO FINO, MAGDALENA DEL MAR, LIMA 2025.

INDICADOR: RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN

Resistencia a la compresión de la muestra patron

Nombre	Diseño	Fecha de inicio	Fecha de rotura	Edad de curado	Diámetro	Área	Carga	Resistencia obtenida	Resistencia promedio
	kg/cm2			días					
P 1	210	25.02.25	04.03.25	7.00	10.15	80.83	11,877	146.93	152.33
P 2	210	25.02.25	04.03.25	7.00	10.13	80.59	12,076	149.84	
P 3	210	25.02.25	04.03.25	7.00	10.17	81.23	13,013	160.20	
P 4	210	25.02.25	25.03.25	28.00	9.61	72.53	15,407	212.42	
P 5	210	25.02.27	25.03.25	28.00	9.94	77.60	16,313	210.23	209.23
P 6	210	25.02.28	25.03.25	28.00	10.21	81.83	16,779	205.05	

Resistencia a la compresión con 20% de Escoria de cobre como sustituto del agregado fino.

Nombre	Diseño	Fecha de inicio	Fecha de rotura	Edad de curado	Diámetro	Área	Carga	Resistencia obtenida	Resistencia promedio
	kg/cm2			días					
PE20% 1	210	26.02.25	05.03.25	7.00	10.16	81.07	13,090	161.46	160.62
PE20% 2	210	26.02.25	05.03.25	7.00	10.13	80.63	12,546	155.59	
PE20% 3	210	26.02.25	05.03.25	7.00	10.68	89.50	14,750	164.81	
PE20% 4	210	26.02.25	26.03.25	28.00	9.88	76.59	16,708	218.15	
PE20% 5	210	26.02.25	26.03.25	28.00	10.17	81.15	17,897	220.55	220.15
PE20% 6	210	26.02.25	26.03.25	28.00	10.20	81.75	18,127	221.74	

Resistencia a la compresión con 30% de Escoria de cobre como sustituto del agregado fino.

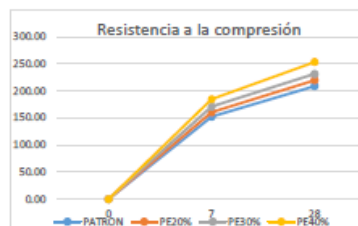
Nombre	Diseño	Fecha de inicio	Fecha de rotura	Edad de curado	Diámetro	Área	Carga	Resistencia obtenida	Resistencia promedio
	kg/cm2			días					
PE30% 1	210	27.02.25	06.03.25	7.00	10.14	80.75	13,593	168.33	171.05
PE30% 2	210	27.02.25	06.03.25	7.00	10.29	83.16	14,414	173.34	
PE30% 3	210	27.02.25	06.03.25	7.00	10.25	82.43	14,136	171.49	
PE30% 4	210	27.02.25	27.03.25	28.00	10.23	82.11	19,415	236.44	
PE30% 5	210	27.02.25	27.03.25	28.00	10.16	81.11	18,598	229.29	231.74
PE30% 6	210	27.02.25	27.03.25	28.00	9.91	77.05	17,682	229.48	

Resistencia a la compresión con 40% de Escoria de cobre como sustituto del agregado fino.

Nombre	Diseño	Fecha de inicio	Fecha de rotura	Edad de curado	Diámetro	Área	Carga	Resistencia obtenida	Resistencia promedio
	kg/cm2			días					
PE40% 1	210	28.02.25	07.03.25	7.00	10.63	88.70	17,102	192.80	184.85
PE40% 2	210	28.02.25	07.03.25	7.00	10.20	81.71	14,932	182.74	
PE40% 3	210	28.02.25	07.03.25	7.00	10.17	81.19	14,534	179.01	
PE40% 4	210	28.02.25	28.03.25	28.00	9.97	78.11	19,375	248.06	
PE40% 5	210	28.02.25	28.03.25	28.00	10.14	80.79	20,416	252.69	253.70
PE40% 6	210	28.02.25	28.03.25	28.00	10.19	81.47	21,210	260.33	

Comparativo de las resistencias a compresión entre 7 y 28 días

MUESTRA	DIAS		
	0	7	28
PATRON	0.00	152.33	209.23
PE20%	0.00	160.62	220.15
PE30%	0.00	171.05	231.74
PE40%	0.00	184.85	253.70



FICHA TÉCNICA N°2

UNIVERSIDAD: UNIVERSIDAD NACIONAL FEDERICO VILLARREAL
 TESIS: FRANK RENZO VILLACORTA VILLARREAL

TÍTULO DE INVESTIGACIÓN: PROPIEDADES DEL CONCRETO $F'_{C'} = 210 \text{ KG/CM}^2$ PARA LOSAS ALIGERADAS CON INCLUSIÓN DE LA ESCORIA DE COBRE COMO SUSTITUTO DEL AGREGADO FINO, MAGDALENA DEL MAR, LIMA 2023.
 INDICADOR: RESISTENCIA A LA FLEXIÓN

Resistencia a la flexión de la muestra patrón

Nombre	Diseño	Fecha de inicio	Fecha de rotura	Edad de curado	Distancia entre apoyos (L)	Peralte	Ancho	Carga	Resistencia obtenida	Resistencia promedio
	kg/cm ²			días						
V1	210.00	23.02.23	04.03.23	7	45.2	14.95	14.97	1283.20	25.97	26.52
V2	210.00	23.02.23	04.03.23	7	45.2	15.05	14.99	1343.52	26.94	
V3	210.00	23.02.23	04.03.23	7	45.2	15.24	15.28	1399.16	26.66	
V4	210.00	23.02.23	25.03.23	28	45.2	14.84	14.71	1532.03	32.35	33.41
V5	210.00	23.02.23	25.03.23	28	45.2	15.14	14.85	1690.88	34.37	
V6	210.00	23.02.23	25.03.23	28	45.2	14.96	14.67	1591.90	33.52	

Resistencia a la flexión con 20% de Escoria de cobre como sustituto del agregado fino.

Nombre	Diseño	Fecha de inicio	Fecha de rotura	Edad de curado	Distancia entre apoyos (L)	Peralte	Ancho	Carga	Resistencia obtenida	Resistencia promedio
	kg/cm ²			días						
VE20%-1	210.00	26.02.23	05.03.23	7	45.2	15.31	15.45	1658.44	30.77	30.42
VE20%-2	210.00	26.02.23	05.03.23	7	45.2	15.39	15.43	1671.37	30.93	
VE20%-3	210.00	26.02.23	05.03.23	7	45.2	15.19	15.22	1534.26	29.56	
VE20%-4	210.00	26.02.23	26.03.23	28	45.2	14.95	14.71	1892.31	39.66	39.35
VE20%-5	210.00	26.02.23	26.03.23	28	45.2	14.775	14.71	1818.69	38.57	
VE20%-6	210.00	26.02.23	26.03.23	28	45.2	14.655	15.02	1942.49	39.83	

Resistencia a la flexión con 30% de Escoria de cobre como sustituto del agregado fino.

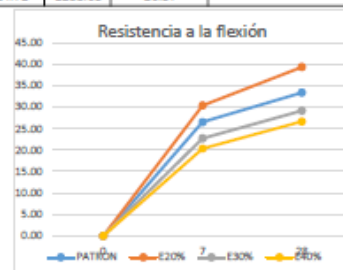
Nombre	Diseño	Fecha de inicio	Fecha de rotura	Edad de curado	Distancia entre apoyos (L)	Peralte	Ancho	Carga	Resistencia obtenida	Resistencia promedio
	kg/cm ²			días						
VE30%-1	210.00	27.02.23	06.03.23	7	45.2	15.71	15.215	1238.05	23.08	22.75
VE30%-2	210.00	27.02.23	06.03.23	7	45.2	15.24	15.37	1204.78	22.69	
VE30%-3	210.00	27.02.23	06.03.23	7	45.2	15.23	15.22	1169.35	22.47	
VE30%-4	210.00	27.02.23	27.03.23	28	45.2	15.13	15.075	1497.23	29.52	29.18
VE30%-5	210.00	27.02.23	27.03.23	28	45.2	15.235	15.24	1510.42	28.94	
VE30%-6	210.00	27.02.23	27.03.23	28	45.2	15.6	15.29	1564.32	29.08	

Resistencia a la flexión con 40% de Escoria de cobre como sustituto del agregado fino.

Nombre	Diseño	Fecha de inicio	Fecha de rotura	Edad de curado	Distancia entre apoyos (L)	Peralte	Ancho	Carga	Resistencia obtenida	Resistencia promedio
	kg/cm ²			días						
VE40%-1	210.00	28.02.23	07.03.23	7	45.2	15.26	15.81	1167.31	20.75	20.34
VE40%-2	210.00	28.02.23	07.03.23	7	45.2	15.29	15.43	1068.38	19.90	
VE40%-3	210.00	28.02.23	07.03.23	7	45.2	15.25	15.57	1110.07	20.36	
VE40%-4	210.00	28.02.23	28.03.23	28	45.2	14.505	14.945	1299.41	27.19	26.68
VE40%-5	210.00	28.02.23	28.03.23	28	45.2	14.655	14.62	1222.65	26.46	
VE40%-6	210.00	28.02.23	28.03.23	28	45.2	14.69	14.72	1238.03	26.37	

Comparativo de resistencias a flexión entre 7 y 28 días

MUESTRA	DIAS		
	0	7	28
PATRÓN	0.00	26.52	33.41
E20%	0.00	30.42	39.35
E30%	0.00	22.75	29.18
E40%	0.00	20.34	26.68



FICHA TÉCNICA N°3

UNIVERSIDAD: UNIVERSIDAD NACIONAL FEDERICO VILLARREAL

TESISTA : FRANK RENZO VILLACORTA VILLARREAL

TÍTULO DE INVESTIGACIÓN: PROPIEDADES DEL CONCRETO $F'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ PARA LOSAS ALIGERADAS CON INCLUSIÓN DE LA ESCORIA DE COBRE COMO SUSTITUTO DEL AGREGADO FINO, MAGDALENA DEL MAR, LIMA 2025.

INDICADOR: PERMEABILIDAD

Ensayo de permeabilidad de la muestra patrón.

Nombre	Edad de curado	Longitud de la muestra	Área de la muestra	Área de la tubería de carga	Tiempo de h1 a h2	Altura h1 (nivel del agua de la tubería de carga)	Altura h2 (nivel del agua de la tubería de descarga)	Coefficiente de permeabilidad	Coefficiente de permeabilidad promedio
	días	cm	cm ²	cm ²	seg	cm	cm	k (cm/s)	cm/s
P7	28	20.05	72.08	86.26	1790	69.40	39.50	0.0033	0.0032
P8	28	19.88	74.74	86.26	1730	69.40	39.50	0.0032	
P9	28	20.12	77.67	86.26	1730	69.40	39.50	0.0032	

Ensayo de permeabilidad con 20% de Escoria de cobre como sustituto del agregado fino.

Nombre	Edad de curado	Longitud de la muestra	Área de la muestra	Área de la tubería de carga	Tiempo de h1 a h2	Altura h1 (nivel del agua de la tubería de carga)	Altura h2 (nivel del agua de la tubería de descarga)	Coefficiente de permeabilidad	Coefficiente de permeabilidad promedio
	días	cm	cm ²	cm ²	seg	cm	cm	k (cm/s)	cm/s
PE20%-7	28	20.05	78.09	86.26	1590	69.40	39.50	0.0034	0.0034
PE20%-8	28	19.96	79.15	86.26	1610	69.40	39.50	0.0033	
PE20%-9	28	20.08	76.24	86.26	1540	69.40	39.50	0.0036	

Ensayo de permeabilidad con 30% de Escoria de cobre como sustituto del agregado fino.

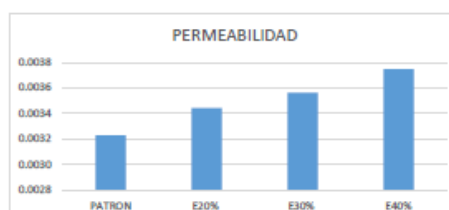
Nombre	Edad de curado	Longitud de la muestra	Área de la muestra	Área de la tubería de carga	Tiempo de h1 a h2	Altura h1 (nivel del agua de la tubería de carga)	Altura h2 (nivel del agua de la tubería de descarga)	Coefficiente de permeabilidad	Coefficiente de permeabilidad promedio
	días	cm	cm ²	cm ²	seg	cm	cm	k (cm/s)	cm/s
PE30%-7	28	20.31	72.08	86.26	1640	69.40	39.50	0.0036	0.0036
PE30%-8	28	19.85	73.02	86.26	1615	69.40	39.50	0.0036	
PE30%-9	28	19.87	75.05	86.26	1590	69.40	39.50	0.0035	

Ensayo de permeabilidad con 40% de Escoria de cobre como sustituto del agregado fino.

Nombre	Edad de curado	Longitud de la muestra	Área de la muestra	Área de la tubería de carga	Tiempo de h1 a h2	Altura h1 (nivel del agua de la tubería de carga)	Altura h2 (nivel del agua de la tubería de descarga)	Coefficiente de permeabilidad	Coefficiente de permeabilidad promedio
	días	cm	cm ²	cm ²	seg	cm	cm	k (cm/s)	cm/s
PE40%-7	28	20.02	73.17	86.26	1490	69.40	39.50	0.0039	0.0037
PE40%-8	28	20.16	73.78	86.26	1515	69.40	39.50	0.0038	
PE40%-9	28	20.06	75.66	86.26	1575	69.40	39.50	0.0036	

Comparativo de ensayo de permeabilidad a 28 días

MUESTRA	PERMEABILIDAD	
PATRON	0.0032	cm/s
E20%	0.0034	cm/s
E30%	0.0036	cm/s
E40%	0.0037	cm/s



FICHA TÉCNICA N°4

UNIVERSIDAD: UNIVERSIDAD NACIONAL FEDERICO VILLARREAL

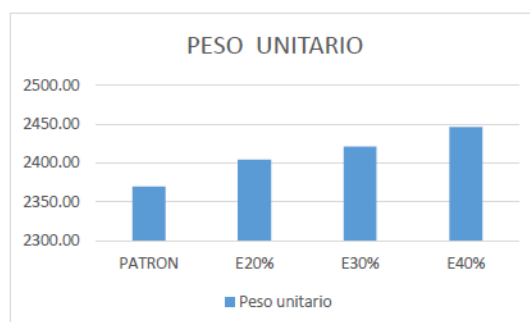
TESISTA : FRANK RENZO VILLACORTA VILLARREAL

TITULO DE INVESTIGACIÓN: PROPIEDADES DEL CONCRETO F' C= 210 KG/CM2 PARA LOSAS ALIGERADAS CON INCLUSIÓN DE LA ESCORIA DE COBRE COMO SUSTITUTO DEL AGREGADO FINO, MAGDALENA DEL MAR, LIMA 2025.

INDICADOR: PESO UNITARIO

Peso unitario del concreto

Nombre	Fecha de ensayo	Diametro	Área	Altura	Volumen	Peso	Peso unitario
		m	m2	m	m3	kg	kg/m3
PATRON	25.02.25	20.4	326.84	29.10	0.01	22.54	2369.86
E20%	26.02.25	20.4	326.84	29.10	0.01	22.87	2404.56
E30%	27.02.25	20.4	326.84	29.10	0.01	23.03	2421.38
E40%	28.02.25	20.4	326.84	29.10	0.01	23.27	2446.62



ANEXO D: INSTRUMENTOS - FICHAS TÉCNICAS

- Ficha técnica N° 1: Resistencia a la compresión
- Ficha técnica N° 2: Resistencia a la flexión
- Ficha técnica N° 3: Permeabilidad
- Ficha técnica N° 4: Peso unitario

FICHA TÉCNICA N°1

UNIVERSIDAD: UNIVERSIDAD NACIONAL FEDERICO VILLARREAL

TESISTA: FRANK RENZO VILLACORTA VILLARREAL

TÍTULO DE INVESTIGACIÓN: PROPIEDADES DEL CONCRETO $F'_{c} = 210 \text{ KG/CM}^2$ PARA LOSAS ALIGERADAS CON INCLUSIÓN DE LA ESCORIA DE COBRE COMO

SUSTITUTO DEL AGREGADO FINO, MAGDALENA DEL MAR, LIMA 2025.

INDICADOR: RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN

Resistencia a la compresión de la muestra patron

Nombre	Diseño	Fecha de inicio	Fecha de rotura	Edad de curado	Diámetro	Área	Carga	Resistencia obtenida	Resistencia promedio
	kg/cm ²			días					
P 1									
P 2									
P 3									
P 4									
P 5									
P 6									

Resistencia a la compresión con 20% de Escoria de cobre como sustituto del agregado fino.

Nombre	Diseño	Fecha de inicio	Fecha de rotura	Edad de curado	Diámetro	Área	Carga	Resistencia obtenida	Resistencia promedio
	kg/cm ²			días					
PE20% 1									
PE20% 2									
PE20% 3									
PE20% 4									
PE20% 5									
PE20% 6									

Resistencia a la compresión con 30% de Escoria de cobre como sustituto del agregado fino.

Nombre	Diseño	Fecha de inicio	Fecha de rotura	Edad de curado	Diámetro	Área	Carga	Resistencia obtenida	Resistencia promedio
	kg/cm ²			días					
PE30% 1									
PE30% 2									
PE30% 3									
PE30% 4									
PE30% 5									
PE30% 6									

Resistencia a la compresión con 40% de Escoria de cobre como sustituto del agregado fino.

Nombre	Diseño	Fecha de inicio	Fecha de rotura	Edad de curado	Diámetro	Área	Carga	Resistencia obtenida	Resistencia promedio
	kg/cm ²			días					
PE40% 1									
PE40% 2									
PE40% 3									
PE40% 4									
PE40% 5									
PE40% 6									

Comparativo de las resistencias a compresión entre 7 y 28 días

MUESTRA	DIAS		
	0	7	28
PATRON			
PE20%			
PE30%			
PE40%			



VALIDACIÓN DEL INSTRUMENTO

NOMBRE Y APELLIDOS	FIRMA Y CIP	PUNTO (0-1)	PROMEDIO
Daniel Navarro Armas	185660	0.9	0.9
JAVIER SABOGAL VALDEZ	136033	0.9	
Wilson Salvatierra Chaparro	326348	0.9	

D. Navarro
DANIEL H.N. NAVARRO ARMAS
 ING CIVIL
 CIP 185660

J. Sabogal
JAVIER EDUARDO SABOGAL VALDEZ
 INGENIERO CIVIL
 Reg. CIP N° 136033

W. Salvatierra
WILSON SALVATIERRA CHAPARRO
 Ingeniero Civil
 CIP N° 326348

FICHA TÉCNICA N°2

UNIVERSIDAD: UNIVERSIDAD NACIONAL FEDERICO VILLARREAL

TESISTA: FRANK RENZO VILLACORTA VILLARREAL

TÍTULO DE INVESTIGACIÓN: PROPIEDADES DEL CONCRETO F'c= 210 KG/CM2 PARA LOSAS ALIGERADAS CON INCLUSIÓN DE LA ESCORIA DE COBRE COMO SUSTITUTO DEL

AGREGADO FINO, MAGDALENA DEL MAR, LIMA 2025.

INDICADOR: RESISTENCIA A LA FLEXIÓN

Resistencia a la flexión de la muestra patron

Nombre	Diseño	Fecha de inicio	Fecha de rotura	Edad de curado	Distancia entre apoyos (L)	Peralte	Ancho	Carga	Resistencia obtenida	Resistencia promedio
	kg/cm2			días	cm	cm	cm	Kgf	kgf/cm2	kgf/cm2
V1										
V2										
V3										
V4										
V5										
V6										

Resistencia a la flexión con 20% de Escoria de cobre como sustituto del agregado fino.

Nombre	Diseño	Fecha de inicio	Fecha de rotura	Edad de curado	Distancia entre apoyos (L)	Peralte	Ancho	Carga	Resistencia obtenida	Resistencia promedio
	kg/cm2			días	cm	cm	cm	Kgf	kgf/cm2	kgf/cm2
VE20%-1										
VE20%-2										
VE20%-3										
VE20%-4										
VE20%-5										
VE20%-6										

Resistencia a la flexión con 30% de Escoria de cobre como sustituto del agregado fino.

Nombre	Diseño	Fecha de inicio	Fecha de rotura	Edad de curado	Distancia entre apoyos (L)	Peralte	Ancho	Carga	Resistencia obtenida	Resistencia promedio
	kg/cm2			días	cm	cm	cm	Kgf	kgf/cm2	kgf/cm2
VE30%-1										
VE30%-2										
VE30%-3										
VE30%-4										
VE30%-5										
VE30%-6										

Resistencia a la flexión con 40% de Escoria de cobre como sustituto del agregado fino.

Nombre	Diseño	Fecha de inicio	Fecha de rotura	Edad de curado	Distancia entre apoyos (L)	Peralte	Ancho	Carga	Resistencia obtenida	Resistencia promedio
	kg/cm2			días	cm	cm	cm	Kgf	kgf/cm2	kgf/cm2
VE40%-1										
VE40%-2										
VE40%-3										
VE40%-4										
VE40%-5										
VE40%-6										

Comparativo de resistencias a flexión entre 7 y 28 días

	DÍAS		
MUESTRA	0	7	28
PATRON			
VE20%			
VE30%			
VE40%			



VALIDACIÓN DEL INSTRUMENTO

NOMBRE Y APELLIDOS	FIRMA Y CIP	PUNTO (0-1)	PROMEDIO
Daniel Navarro Armas	185660	0.9	0.9
Jaime Sabogal Valdez	136033	0.9	
Wilson Salatierra Chaparro	326348	0.9	

DANIEL M.N. NAVARRO ARMAS
ING CIVIL
CIP 185660

JAIIME SABOGAL VALDEZ
INGENIERO CIVIL
CIP N° 136033

WILSON
SALATIERRA CHAPARRO
Ingeniero Civil
CIP N° 326348

FICHA TÉCNICA N°3

UNIVERSIDAD: UNIVERSIDAD NACIONAL FEDERICO VILLARREAL
 TESISISTA: FRANK RENZO VILLACORTA VILLARREAL

TÍTULO DE INVESTIGACIÓN: PROPIEDADES DEL CONCRETO F C= 210 KG/CM² PARA LOSAS ALIGERADAS CON INCLUSIÓN DE LA ESCORIA DE COBRE COMO SUSTITUTO DEL AGREGADO FINO, MAGDALENA DEL MAR, LIMA 2025.
 INDICADOR: PERMEABILIDAD

Ensayo de permeabilidad de la muestra patron.

Nombre	Edad de curado	Longitud de la muestra	Área de la muestra	Área de la tubería de carga	Tiempo de h1 a h2	Altura h1 (nivel del agua de la tubería de carga)	Altura h2 (nivel del agua de la tubería de descarga)	Coefficiente de permeabilidad	Coefficiente de permeabilidad promedio
	días	cm	cm ²	cm ²	seg	cm	cm	k (cm/s)	cm/s
P7									
P8									
P9									

Ensayo de permeabilidad con 20% de Escoria de cobre como sustituto del agregado fino.

Nombre	Edad de curado	Longitud de la muestra	Área de la muestra	Área de la tubería de carga	Tiempo de h1 a h2	Altura h1 (nivel del agua de la tubería de carga)	Altura h2 (nivel del agua de la tubería de descarga)	Coefficiente de permeabilidad	Coefficiente de permeabilidad promedio
	días	cm	cm ²	cm ²	seg	cm	cm	k (cm/s)	cm/s
PE20%-7									
PE20%-8									
PE20%-9									

Ensayo de permeabilidad con 30% de Escoria de cobre como sustituto del agregado fino.

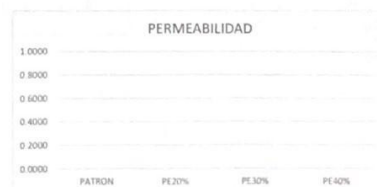
Nombre	Edad de curado	Longitud de la muestra	Área de la muestra	Área de la tubería de carga	Tiempo de h1 a h2	Altura h1 (nivel del agua de la tubería de carga)	Altura h2 (nivel del agua de la tubería de descarga)	Coefficiente de permeabilidad	Coefficiente de permeabilidad promedio
	días	cm	cm ²	cm ²	seg	cm	cm	k (cm/s)	cm/s
PE30%-7									
PE30%-8									
PE30%-9									

Ensayo de permeabilidad con 40% de Escoria de cobre como sustituto del agregado fino.

Nombre	Edad de curado	Longitud de la muestra	Área de la muestra	Área de la tubería de carga	Tiempo de h1 a h2	Altura h1 (nivel del agua de la tubería de carga)	Altura h2 (nivel del agua de la tubería de descarga)	Coefficiente de permeabilidad	Coefficiente de permeabilidad promedio
	días	cm	cm ²	cm ²	seg	cm	cm	k (cm/s)	cm/s
PE40%-7									
PE40%-8									
PE40%-9									

Comparativo de ensayo de permeabilidad a 28 días

MUESTRA	28 DÍAS
PATRON	0.0000 cm/s
PE20%	0.0000 cm/s
PE30%	0.0000 cm/s
PE40%	0.0000 cm/s



VALIDACIÓN DEL INSTRUMENTO

NOMBRE Y APELLIDOS	FIRMA Y CIP	PUNTO (0-1)	PROMEDIO
Daniel Navarro Armas	195660	0.9	
Javier Saegsa Valdez	136033	0.9	0.9
Wilson Salvatierra Chacon	326348	0.9	

DANIEL H.N. NAVARRO ARMAS
 ING CIVIL
 CIP 185660

JAVIER EDUARDO SÁEGSA VALDEZ
 INGENIERO CIVIL
 Reg. CIP N° 136033

WILSON
 SALVATIERRA CHACON
 Ingeniero Civil
 CIP N° 326348

FICHA TÉCNICA N°4

UNIVERSIDAD: UNIVERSIDAD NACIONAL FEDERICO VILLARREAL

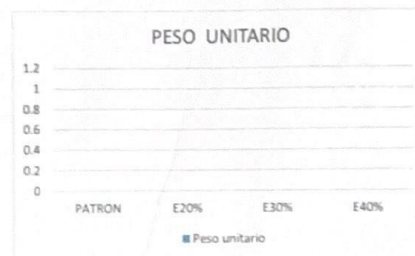
TESISTA : FRANK RENZO VILLACORTA VILLARREAL

TÍTULO DE INVESTIGACIÓN: PROPIEDADES DEL CONCRETO F'c= 210 KG/CM2 PARA LOSAS ALIGERADAS CON INCLUSIÓN DE LA ESCORIA DE COBRE COMO SUSTITUTO DEL AGREGADO FINO, MAGDALENA DEL MAR, LIMA 2025.

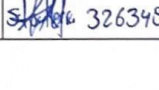
INDICADOR: PESO UNITARIO

Peso unitario del concreto

Nombre	Fecha de ensayo	Diametro m	Área m ²	Altura m	Volumen m ³	Peso kg	Peso unitario kg/m ³
PATRON							
E20%							
E30%							
E40%							



VALIDACIÓN DEL INSTRUMENTO

NOMBRE Y APELLIDOS	FIRMA Y CIP	PUNTO (0-1)	PROMEDIO
Daniel Navarro Armas	 185660	0.9	0.9
Javier Sabogal Valdez	 136033	0.9	
Wilson Salavterra Chapoan	 326348	0.9	


DANIEL H.N. NAVARRO ARMAS
ING CIVIL
CIP 185660


JAVIER EDUARDO SABOGAL VALDEZ
INGENIERO CIVIL
Reg CIP N° 136033


WILSON
SALAVTERRA CHAPOAN
Ingeniero Civil
CIP N° 326348

ANEXO E: CERTIFICADOS DE CALIBRACIÓN DE EQUIPOS

LABORATORIO DE METROLOGÍA



AG4

INGENIERIA & METROLOGIA S.R.L.

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN

0027-CCF-2025

Pág. 1 de 3

Expediente : S-0070-2025
OBJETO DE PRUEBA : MAQUINA PARA ENSAYOS DE CONCRETO
Rangos : 101972.0 kgf
Dirección de carga : ASCENDENTE
FABRICANTE : ELE International
Modelo : 36-3086/06
Serie : S1100000001
Indicador de Fuerza (Modelo // Serie) : ELE Int. // 1886B0033
Trasductor de Presion (Modelo // Serie) : 15012
Capacidad : 1000 kN
Ubicación : LABORATORIO DE ENSAYOS SOLICITANTE
Codigo Identificacion : 075123
Procedimiento de Calibracion : El método utilizado fue de comparación directa aplicando Fuerza Indicada Constante.
Intervalo calibrado : Escala (s) 101 972 kgf
Temperatura de prueba °C : Inicial 28.2 Final 28.3
Inspección general : La máquina se encuentra en buen estado de funcionamiento.
Solicitante : UNIVERSIDAD INAC. FEDERICO VILLARREAL
Dirección : CAL CARLOS GONZALES NRO. 285 RES. SAN MIGUEL
Ciudad : LIMA - SAN MIGUEL
PATRON(ES) UTILIZADO(S) : CELDA DE CARGA
Modelo A-SHN // K-9
Serie 5Y46357 // 201806022
Certif. de calibr. INF- LE 016 - 25 PUCP
Unidades de medida : Sistema Internacional de Unidades (SI)
FECHA DE CALIBRACION : 2025/02/24
FECHA DE EMISION : 2025/02/25
FIRMAS AUTORIZADAS

Jefe de Metrologia
Luigi Asenjo G.

PROHIBIDA LA REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL DE ESTE DOCUMENTO SIN LA AUTORIZACIÓN DE AG4 INGENIERIA Y METROLOGIA S.R.L.

01 622 5224

997 045 343
 961 739 849
 955 851 191

ventasag4ingenieria@gmail.com
 ventas@ag4im.com

www.ag4ingenieria.com

LABORATORIO DE METROLOGÍA



AG4

INGENIERÍA & METROLOGÍA S.R.L.

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN

0027-CCF-2025

Pág. 2 de 3

Método de calibración : FUERZA INDICADA CONSTANTE

Condiciones Ambientales

Temperatura Ambiente Inicial °C	28.2	Temperatura Ambiente Final °C	28.3
Humedad Relativa Inicial %HR	59	Humedad Relativa Final %HR	59

DATOS DE CALIBRACIÓN

ESCALA : 1000.0 kN Resolución: 0.1 kN Dirección de la carga: ASCENDENTE

Indicación de la máquina (F _i)			Indicaciones del instrumento patrón				
%	kN	kgf	0°	120°	No aplica	240°	Accesorios
10	100.0	10 197	107.1	107.6	No aplica	105.7	No aplica
20	200.0	20 394	212.6	213.7	No aplica	211.6	No aplica
30	300.0	30 592	314.7	316.0	No aplica	313.6	No aplica
40	400.0	40 789	417.3	418.8	No aplica	416.8	No aplica
50	500.0	50 986	519.0	520.1	No aplica	518.7	No aplica
60	600.0	61 183	620.9	622.0	No aplica	620.8	No aplica
70	700.0	71 380	722.8	724.4	No aplica	723.3	No aplica
80	800.0	81 578	825.3	826.6	No aplica	827.1	No aplica
90	900.0	91 775	925.6	925.8	No aplica	925.4	No aplica
100	1000.0	101 972	1023.7	1023.9	No aplica	1023.5	No aplica
Indicación después de carga :			0.01	0.01	0.00	0.01	No aplica

ESCALA : 1000.0 kN Incertidumbre del patrón: 0.086 %

Indicación de la máquina (F _i)			Cálculo de errores relativos				Resolución
%	kN	kgf	Exactitud q (%)	Repetibilidad b (%)	Reversibilidad v (%)	Accesorios Acces. (%)	a (%)
10	100.0	10 197	-6.38	1.75	No aplica	No aplica	0.10
20	200.0	20 394	-5.95	0.95	No aplica	No aplica	0.05
30	300.0	30 592	-4.69	0.76	No aplica	No aplica	0.03
40	400.0	40 789	-4.22	0.50	No aplica	No aplica	0.02
50	500.0	50 986	-3.71	0.27	No aplica	No aplica	0.02
60	600.0	61 183	-3.42	0.21	No aplica	No aplica	0.02
70	700.0	71 380	-3.25	0.23	No aplica	No aplica	0.01
80	800.0	81 578	-3.19	0.21	No aplica	No aplica	0.01
90	900.0	91 775	-2.76	0.05	No aplica	No aplica	0.01
100	1000.0	101 972	-2.32	0.04	No aplica	No aplica	0.01
Error de cero fo (%)			0,000	0,000	0,000	No aplica	Err máx.(0) = 000

FIRMAS AUTORIZADAS

Jefe de Metrología
Luigi Asenjo G.

PROHIBIDA LA REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL DE ESTE DOCUMENTO SIN LA AUTORIZACIÓN DE AG4 INGENIERÍA Y METROLOGÍA S.R.L.

01 622 5224

997 045 343
961 739 849
955 851 191ventasag4ingenieria@gmail.com
ventas@ag4im.com

www.ag4ingenieria.com

LABORATORIO DE METROLOGÍA



AG4

INGENIERÍA & METROLOGÍA S.R.L.

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN

0027-CCF-2025

Pág. 3 de 3

CLASIFICACIÓN DE

MAQUINA PARA ENSAYOS DE CONCRETO

ESCALA 101972.0 kgf

Error de exactitud -2.32 %

Error de repetibilidad 1.75 %

Error de Reversibilidad No aplica

Error de cero 0

Error por accesorio 0 %

Resolución 0.05 En el 20 %

La calibración se efectuó siguiendo los lineamientos establecidos en el documento de referencia ISO 7500-1:2018 Metallic materials - Calibration and verification of static uniaxial testing machines - Part 1: Tension/compression testing machines - Calibration and verification of the force-measuring system, en donde se especifica un intervalo de temperatura comprendido entre 10°C a 35°C, con una variación máxima de 2°C durante cada serie de medición.

El factor de conversión utilizado para los cálculos fue: (kN) a (N) = 1 000, tomado del documento NIST SPECIAL PUBLICATION 811: Guide for the use of the International System of Units (SI) - Anexo B8.

TRAZABILIDAD

AG4 INGENIERÍA & METROLOGÍA S.R.L., asegura el mantenimiento y la trazabilidad de sus patrones de trabajo utilizados en las mediciones, los cuales han sido calibrados por la Pontificia Universidad Católica de Perú.

OBSERVACIONES.

1. Los cartas de calibración sin las firmas no tienen validez.

2. El usuario es responsable de la recalibración de los instrumentos de medición. "El tiempo entre dos verificaciones depende del tipo de máquina de ensayo, de la norma de mantenimiento y de la frecuencia de uso. A menos que se especifique lo contrario, se recomienda que se realicen verificaciones a intervalos no mayores a 12 meses." (ISO 7500-1)

3. "En cualquier caso, la máquina debe verificarse si se realiza un cambio de ubicación que requiera desmontaje, o si se somete a ajustes o reparaciones importantes." (ISO 7500-1).

4. Este documento expresa fielmente el resultado de las mediciones realizadas. No podrá ser reproducido parcialmente, excepto cuando se haya obtenido permiso previamente por escrito del laboratorio que lo emite.

5. Los resultados contenidos parcialmente en este informe se refieren al momento y condiciones en que se realizaron las mediciones. El laboratorio que lo emite no se responsabiliza de los perjuicios que puedan derivarse del uso inadecuado de los instrumentos.

6. La incertidumbre de medición reportada ha sido calculada de acuerdo con las Guías OIML G1-100-en: 2008 (JCGM 100: 2008) y OIML G1-104-en: 2009 (JCGM 104: 2009) "Guía para la expresión de la incertidumbre en las mediciones", la cual sugiere desarrollar un modelo matemático que tome en cuenta los factores de influencia durante la incertidumbre indicada no incluye una estimación de las variaciones a largo plazo.

La incertidumbre de medición reportada se denomina incertidumbre expandida (U) y se obtiene de la multiplicación de la incertidumbre estándar combinada (u) por el factor de cobertura (k). Generalmente se expresa un factor k=2 para un nivel de confianza de aproximadamente 95%.

FIRMAS AUTORIZADAS


Jefe de Metrología
Luigi Asenjo G. FUERZA

PROHIBIDA LA REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL DE ESTE DOCUMENTO SIN LA AUTORIZACIÓN DE AG4 INGENIERÍA Y METROLOGÍA S.R.L.

01 622 5224

997 045 343
961 739 849
955 851 191

ventasag4ingenieria@gmail.com
ventas@ag4im.com

www.ag4ingenieria.com