

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



TESIS

**“VARIACIÓN DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN DE UN CONCRETO $f'_c=210$
kg/cm² AL SUSTITUIR EL CEMENTO PORTLAND TIPO I POR CENIZA DE
EUCALIPTO - CAJAMARCA, 2024”**

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL

PRESENTADO POR:

Bach. MEDINA GAMBOA, Neyder Esmey

ASESOR:

Dr. Ing. MOSQUEIRA MORENO, Miguel Angel

CAJAMARCA – PERÚ

2024

CONSTANCIA DE INFORME DE ORIGINALIDAD

- FACULTAD DE INGENIERÍA -

1. **Investigador:** NEYDER ESMEY MEDINA GAMBOA

DNI: 77795317

Escuela Profesional: INGENIERÍA CIVIL

2. **Asesor:** Dr. Ing. MIGUEL ANGEL MOSQUEIRA MORENO

Facultad: DE INGENIERÍA

3. **Grado académico o título profesional**

Bachiller

Título profesional

Segunda especialidad

Maestro

Doctor

4. **Tipo de Investigación:**

Tesis

Trabajo de investigación

Trabajo de suficiencia profesional

Trabajo académico

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

" VARIACIÓN DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN DE UN CONCRETO $f'c=210$ kg/cm² AL SUSTITUIR EL CEMENTO PORTLAND TIPO I POR CENIZA DE EUCALIPTO - CAJAMARCA, 2024"

6. **Fecha de evaluación:** 11/12/2024

7. **Software antiplagio:**

TURNITIN

URKUND (OURIGINAL) (*)

8. **Porcentaje de Informe de Similitud:** 18%

9. **Código Documento: Oid:** 3117:415222422

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

APROBADO PARA LEVANTAMIENTO DE OBSERVACIONES O DESAPROBADO

Fecha Emisión: 11/12/2024



FIRMA DEL ASESOR

Dr. Ing. MIGUEL ANGEL MOSQUEIRA MORENO
DNI: 26733060



Firmado digitalmente por:

BAZAN DIAZ Laura Sofia

FAU 20148258601 soft

Motivo: En señal de
conformidad

Fecha: 11/12/2024 22:15:55-0500

UNIDAD DE INVESTIGACIÓN FI

Agradecimiento

En primer lugar, agradezco a Dios por haberme otorgado el don de la vida.

A mis padres: Faustino Medina y Cistina Gamboa, y a mis hermanos: Deysy, Keysón; quienes constantemente me han ofrecido su respaldo incondicionalmente. Su aliento y motivación han sido fundamentales para que yo persevere en mis metas educativas y lograr alcanzarlas.

Deseo manifestar mi profunda gratitud hacia mi asesor, el Dr. en Ing. Miguel Angel Mosqueira Moreno, por su generosidad al intercambiar sus conocimientos y por su valiosa orientación, las cuales fueron fundamentales para llevar a cabo este trabajo de investigación.

Por último, agradecer a todos mis docentes de la EAPIC de la Universidad Nacional de Cajamarca por sus enseñanzas y haber aportado en mi formación como profesional.

Dedicatoria

A dios:

Por el regalo de la existencia y dotarme de la inteligencia necesaria para alcanzar este objetivo.

A mis padres:

Faustino Medina e Cistina Gamboa, que siempre han sido un constante apoyo en mi vida, ofreciéndome su respaldo incondicionalmente. Me han motivado continuamente a perseverar y, lo más importante, se han convertido en los cimientos fundamentales de mi existencia.

Neyder Esmey Medina Gamboa

Índice de contenido

	Pág.
Agradecimiento	ii
Dedicatoria	iii
Índice de contenido	iv
Índice de tablas	viii
Índice de figuras	x
Resumen	xi
Abstract	xii
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN	13
1.1. Planteamiento del problema.....	13
1.2. Formulación del problema	14
1.3. Hipótesis.....	14
1.4. Justificación de la investigación.....	14
1.5. Alcances o delimitación de la investigación	15
1.5.1. Alcances	15
1.5.2. Delimitación	15
1.5.2.1. Delimitación temporal.....	15
1.5.2.2. Delimitación espacial	15
1.5.2.3. Delimitación experimental.....	16
1.6. Limitaciones	16
1.7. Objetivos	16
1.7.1. Objetivo general.....	16
1.7.2. Objetivos específicos.....	16
1.8. Descripción de los contenidos de los capítulos	17
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO	18
2.1. Antecedentes teóricos	18
2.1.1. Antecedentes internacionales.....	18
2.1.2. Antecedentes nacionales.....	19
2.1.3. Antecedentes locales	22

2.2. Bases teóricas	24
2.2.1. El concreto	24
2.2.1.1. Clasificación del concreto.....	24
2.2.2. Propiedades del concreto fresco.....	25
2.2.3. Componentes del concreto.....	27
2.2.4. Cemento Portland.....	29
2.2.4.1. Composición química del cemento	30
2.2.5. Curado de las probetas de concreto.....	31
2.2.5.1. Método de curado por inmersión	31
2.2.6. Propiedades del concreto endurecido.....	31
2.2.6.1. Resistencia a la compresión	31
2.2.6.2. Peso unitario del concreto (Densidad).....	32
2.2.7. Cenizas de madera de eucalipto.....	33
2.2.8. Las cenizas y su efecto en la resistencia a compresión del concreto	33
2.3. Definición de términos básicos	34
CAPÍTULO III. MATERIALES Y MÉTODOS.....	37
3.1. Ubicación geográfica	37
3.1.1. Ubicación geográfica del laboratorio	37
3.1.2. Ubicación geográfica de la cantera	38
3.2. Época de la investigación.....	38
3.3. Metodología de la investigación.....	39
3.3.1. Tipo, nivel, diseño y enfoque de la investigación.....	39
3.3.1.1. Tipo.....	39
3.3.1.2. Nivel	39
3.3.1.3. Diseño.....	39
3.3.1.4. Enfoque.....	39
3.3.2. Variables.....	39
3.3.3. Población de estudio	39
3.3.4. Muestra	41
3.3.5. Unidad de análisis	42
3.3.6. Unidad de observación	42
3.4. Procedimiento de la investigación.....	42

3.4.1. Extracción de los agregados para el concreto.....	42
3.4.2. Adquisición de la ceniza de eucalipto para el concreto	42
3.4.3. Determinación de las propiedades de los agregados.....	43
3.4.3.1. Peso específico y absorción del agregado grueso	43
3.4.3.2. Peso específico (Densidad relativa) y absorción del agregado fino.....	44
3.4.3.3. Análisis granulométrico del agregado grueso y fino.....	46
3.4.3.4. Densidad de masa (Peso unitario) del agregado grueso y fino	47
3.4.3.5. Contenido de humedad del agregado grueso y fino	49
3.4.3.6. Materiales más finos que pasan por el tamiz N° 200 por lavado.	50
3.4.3.7. Resistencia a la abrasión e impacto en la máquina de los Ángeles.....	51
3.4.4. Elaboración del diseño de mezclas del concreto $f'_c=210 \text{ kg/cm}^2$	52
3.4.4.1. Procedimiento para la realización de un diseño de mezcla de prueba	53
3.4.4.2. Procedimiento para hacer el reajuste entre la mezcla de prueba con el diseño del concreto patrón.....	53
3.4.4.3. Diseño de mezclas de concreto sustituyendo el 5%,10% y 15% del peso del cemento Portland tipo I por ceniza de eucalipto	53
3.4.5. Elaboración de probetas	53
3.4.6. Ensayo de Slump.....	54
3.4.7. Ensayo de peso unitario de las probetas.....	54
3.4.7.1. Peso unitario del concreto en estado fresco	54
3.4.7.2. Peso unitario del concreto en estado endurecido	55
3.4.8. Ensayos de resistencia a la compresión del concreto.....	55
3.4.9. Elaboración de gráficos	55
3.4.10. Determinación de la variación de la resistencia a compresión	56
3.5. Técnicas e instrumentos de recolección de datos y presentación de resultados.....	56
3.5.1. Técnicas.....	56
3.5.2. Instrumentos	56
3.5.3. Presentación de los resultados	57
3.5.3.1. Resultados de las propiedades físicas y mecánicas de los agregados	57
3.5.3.2. Resultados del diseño de mezclas	58
3.5.3.3. Resultados de las propiedades del concreto fresco	59
3.5.3.4. Resultados de las propiedades del concreto en estado endurecido	61

3.5.3.5. Resultados de resistencia a compresión.....	62
CAPÍTULO IV. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS	64
CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	66
5.1. Conclusiones	66
5.2. Recomendaciones	67
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	68
ANEXOS.....	72

Índice de tablas

	Pág.
Tabla 1. Consistencias recomendadas (Asentamiento) según el tipo de construcción.....	26
Tabla 2. Requerimiento granulométrico del agregado fino	27
Tabla 3. Límites de sustancias deletéreas en el agregado grueso	28
Tabla 4. Límites permisibles de sales y sustancia presentes en el agua	29
Tabla 5. Composición química del cemento.....	31
Tabla 6. Edad de ensayos y tolerancias permitidas de las probetas cilíndricas	32
Tabla 7. Composición química de la ceniza de madera de eucalipto.....	33
Tabla 8. Coordenadas UTM del Laboratorio de Ensayo de Materiales	37
Tabla 9. Coordenadas UTM de la cantera “Aguilar”	38
Tabla 10. Detalle de la muestra.....	42
Tabla 11. Detalle de la elaboración de las probetas con los diferentes porcentajes de sustitución.....	54
Tabla 12. Propiedades físicas del agregado grueso de la catera “Aguilar”.	57
Tabla 13. Propiedades físicas del agregado fino de la catera “Aguilar”.	57
Tabla 14. Peso de los materiales para un metro cubico -concreto de prueba.	58
Tabla 15. Proporción en peso – concreto de prueba.....	58
Tabla 16. Proporción en volumen -concreto de prueba.....	58
Tabla 17. Peso de los materiales para un metro cubico.....	58
Tabla 18. Proporción en peso de los diferentes diseños de mezclas de concreto	59
Tabla 19. Proporción en volumen de los diferentes diseños de mezclas de concreto.....	59
Tabla 20. Trabajabilidad del concreto patrón y concreto en diferentes porcentajes de sustitución.....	59
Tabla 21. Peso unitario del concreto en estado fresco según el tipo de concreto.	60
Tabla 22. Peso unitario del concreto en estado endurecido según el tipo de concreto y las edades de curado.....	61
Tabla 23. Resultados de resistencia a compresión a los 7,14 y 28 días y según el tipo de concreto	62
Tabla 24. Peso específico del agua para el agregado grueso.	72
Tabla 25. Factor de calibración (f) del molde para el agregado grueso.	72
Tabla 26. Peso unitario suelto del agregado grueso.	72
Tabla 27. Peso unitario compactado del agregado grueso.....	72

Tabla 28.	Contenido de humedad del agregado grueso.....	73
Tabla 29.	Peso específico del agregado grueso.....	73
Tabla 30.	Absorción del agregado grueso.	73
Tabla 31.	Material más fino que pasa el tamiz N° 200 del agregado grueso.....	73
Tabla 32.	Resistencia a la abrasión del agregado grueso.....	74
Tabla 33.	Módulo de finura del agregado grueso.....	74
Tabla 34.	Peso específico del agua para el agregado fino.	75
Tabla 35.	Peso unitario compactado del agregado fino.....	75
Tabla 36.	Contenido de humedad del agregado fino.....	75
Tabla 37.	Peso específico del agregado fino.....	76
Tabla 38.	Absorción del agregado fino.	76
Tabla 39.	Material más fino que pasa el tamiz N° 200 del agregado fino.....	76
Tabla 40.	Módulo de finura del agregado fino.....	77
Tabla 41.	Peso específico de la ceniza eucalipto	78
Tabla 42.	Peso específico del agua para el concreto en estado fresco	91
Tabla 43.	Factor de calibración (f) del molde.....	91
Tabla 44.	Peso unitario del concreto en estado fresco en relación al tipo de concreto	91
Tabla 45.	Peso unitario del concreto patrón a las edades de 7,14 y 28 días de curado.	92
Tabla 46.	Peso unitario del concreto con 5% de sustitución a las edades de 7,14 y 28 días de curado.	92
Tabla 47.	Peso unitario del concreto con 10% de sustitución a las edades de 7,14 y 28 días de curado.	93
Tabla 48.	Peso unitario del concreto con 15% de sustitución a las edades de 7,14 y 28 días de curado.	93

Índice de figuras

	Pág.
Figura 1. Localización de LEM-UNC utilizados en la investigación.....	37
Figura 2. Ubicación geográfica de la cantera “Aguilar”	38
Figura 3. Gráfica de la trabajabilidad del concreto fresco en diferentes porcentajes	60
Figura 4. Relación del peso unitario de concreto en estado fresco vs el porcentaje de sustitución de la ceniza de eucalipto.....	60
Figura 5. Peso unitario del concreto a las edades de 7, 14 y 28 días de curado.....	61
Figura 6. Peso unitario del concreto a los 28 días de curado vs el porcentaje de sustitución de la ceniza de eucalipto.....	62
Figura 7. Resistencia a compresión vs edades de curado.	63
Figura 8. Resistencia a compresión a los 28 días vs el porcentaje de sustitución.....	63
Figura 9. Curva de distribución granulométrica del agregado grueso.....	74
Figura 10. Curva de distribución granulométrica del agregado fino.....	77
Figura 11. Recojo de muestra de agregado grueso recolectadas de la cantera “Aguilar” ubicada en Tartar chico	116
Figura 12. Ensayo para determinar el contenido de humedad del agregado grueso	116
Figura 13. Ensayo de análisis granulométrico del agregado grueso para determinar módulo de finura.....	117
Figura 14. Ensayo para determinar Peso unitario del agregado grueso.....	117
Figura 15. Ensayo para determinar el peso específico del agregado fino.....	118
Figura 16. Ensayo para determinar el peso específico agregado grueso.	118
Figura 17. Análisis granulométrico del agregado fino.	119
Figura 18. Tamizado de la ceniza de eucalipto para eliminar las impurezas.....	119
Figura 19. Ensayo para determinar el porcentaje de abrasión o desgaste en la maquina de los Ángeles	120
Figura 20. Ensayo para determinar el peso específico de masa de la ceniza de eucalipto .	120
Figura 21. Elaboración de los especímenes de concreto con diferentes dosificaciones de ceniza de eucalipto.....	121
Figura 22. Verificación del Slump de muestra patrón	121
Figura 23. Curado de los especímenes de concreto.....	122
Figura 24. Medición del diámetro y su altura de los especímenes de concreto	122
Figura 25. Ensayo a la compresion de probetas cilindricas a los 14 días de curado	123

Resumen

La presente investigación se determinó la variación de la resistencia a compresión de un concreto $f'_c = 210 \text{ kg/cm}^2$ al sustituir el cemento Portland tipo I por 5%, 10%, 15% de ceniza de eucalipto. Se empleó una metodología de diseño experimental y de tipo aplicada. Se realizaron un total de 60 probetas cilíndricas, 5 por cada porcentaje sustitución y para tiempos de curado de 7, 14 y 28 días. El peso unitario del concreto fresco patrón fue de 2336.08 kg/m^3 , mientras que para el concreto con reemplazo de cemento Portland tipo I por ceniza de eucalipto se obtuvieron valores de 2325.17 kg/m^3 , 2304.94 kg/m^3 y 2282.94 kg/m^3 , mostrando una disminución en el peso a medida que aumenta el porcentaje de reemplazo en 0.47%, 1.33% y 2.27% en comparación con el concreto patrón. Por otro lado, el peso unitario del concreto patrón endurecido a los 28 días fue de 2347.35 kg/m^3 , mientras que para el concreto con sustitución de cemento Portland tipo I por ceniza de eucalipto se obtuvieron valores de 2342.07 kg/m^3 , 2337.81 kg/m^3 y 2336.78 kg/m^3 , mostrando una disminución en el peso en comparación con el concreto estándar en 0.22%, 0.41% y 0.45%. La resistencia a la compresión promedio a los 28 días para el concreto patrón fue de 259.08 kg/cm^2 , mientras que para el concreto con sustitución de cemento Portland tipo I por ceniza de eucalipto se obtuvieron valores de 246.94 kg/cm^2 , 232.31 kg/cm^2 y 208.15 kg/cm^2 , mostrando una variación negativa en la resistencia a medida que aumenta el porcentaje de reemplazo, con una disminución de 4.69%, 10.33% y 19.66% en comparación con el concreto patrón.

Palabras claves: Concreto, ceniza de eucalipto, resistencia a la compresión, peso unitario, probetas de concreto.

Abstract

The present investigation determined the variation of the compressive strength of a concrete $f'_c = 210 \text{ kg/cm}^2$ by substituting Portland cement type I with 5%, 10%, 15% of eucalyptus ash. An experimental and applied design methodology was used. A total of 60 cylindrical specimens were made, 5 for each percentage substitution and for curing times of 7, 14 and 28 days. The unit weight of the standard fresh concrete was 2336.08 kg/m^3 , while for the concrete with replacement of Portland cement type I by eucalyptus ash, values of 2325.17 kg/m^3 , 2304.94 kg/m^3 and 2282.94 kg/m^3 were obtained, showing a decrease in weight as the replacement percentage increases by 0.47%, 1.33% and 2.27% compared to the standard concrete. On the other hand, the unit weight of the standard concrete hardened at 28 days was 2347.35 kg/m^3 , while for the concrete with replacement of Portland cement type I by eucalyptus ash, values of 2342.07 kg/m^3 , 2337.81 kg/m^3 and 2336.78 kg/m^3 were obtained, showing a decrease in weight compared to the standard concrete by 0.22%, 0.41% and 0.45%. The average compressive strength at 28 days for the standard concrete was 259.08 kg/cm^2 , while values of 246.94 kg/cm^2 , 232.31 kg/cm^2 and 208.15 kg/cm^2 were obtained for the concrete with replacement of Portland cement type I with eucalyptus ash, showing a negative variation in strength as the replacement percentage increases, with a decrease of 4.69%, 10.33% and 19.66% compared to the standard concrete.

Keywords: Concrete, eucalyptus ash, compressive strength, unit weight, concrete specimens.

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

1.1. Planteamiento del problema

Siendo el concreto uno de los materiales más utilizados a nivel mundial en el sector de la construcción, por su gran resistencia a la compresión, versatilidad, durabilidad y economía; lo que hace posible de una manera u otra la ejecución de diferentes obras civiles. El concreto es la mezcla de cemento, agregados pétreos y agua, que con una correcta dosificación al ser mezclados pueden ser parte de las más grandes construcciones. Pero, este conglomerado puede llevar otros componentes que ayuden a mejorar su trabajabilidad y aumentar la resistencia del concreto; obviamente, sin alterar sus propiedades, como es el caso de aditivos, ceniza de madera, micro sílices, entre otros.

Considerando como una alternativa la incorporación de ceniza de madera, por diferentes motivos; uno de ellos y el más principal es por el impacto ambiental que tiene estas cenizas al ser arrojadas o almacenadas al aire libre, es por esto que, al ser recicladas y usadas en un diseño de concreto, podemos ayudar a disminuir la contaminación que esta genera. Otro punto importante, es que presenta componentes cementantes, como es el caso de la ceniza de eucalipto que en su composición química presenta óxido de calcio, dióxido de silicio y trióxido de aluminio. (Cruzado & Olivera, 2022)

La industria de la construcción es una actividad fundamental y permanente en nuestro país, donde el cemento juega un papel crucial. Se ha descubierto que es posible modificar el concreto utilizando productos naturales reciclados provenientes de la biomasa. Al incorporar estas innovaciones en la elaboración del concreto, se podría lograr una reducción significativa en los costos de producción, ya que se disminuiría el consumo de cemento durante el proceso de fabricación. (Angaspilco et al. , 2021)

En ese sentido, la presente investigación realizada en la ciudad de Cajamarca busca utilizar la ceniza de eucalipto en sustitución del cemento Portland tipo I en proporciones de 5%, 10% y 15% para lograr la resistencia a compresión de un concreto de $f'_c=210 \text{ kg/cm}^2$, a fin de determinar su incidencia o variación en el concreto mediante la elaboración de diseño de concreto empleando materiales ecoeficientes, con la finalidad de disminuir la contaminación ambiental y menguar los costos en la elaboración de concreto, asegurando que cumpla todos los lineamientos brindados por la NTP 339.033..

1.2. Formulación del problema

1.1.1. Pregunta principal

¿En cuánto varía la resistencia a compresión de un concreto de $f'_c=210 \text{ kg/cm}^2$, al sustituir el cemento Portland tipo I por ceniza de eucalipto?

1.3. Hipótesis

1.1.2. Hipótesis general

La resistencia a compresión de un concreto $f'_c=210 \text{ kg/cm}^2$ varía en más de 5% al sustituir el cemento Portland tipo I por ceniza de eucalipto.

1.4. Justificación de la investigación

La presente investigación sobre la variación de la resistencia a compresión de un concreto al sustituir el cemento Portland tipo I por ceniza de eucalipto es fundamental para abordar desafíos ambientales en la industria de la construcción. Al reemplazar porcentualmente el cemento Portland, cuya producción es una fuente importante de emisiones de CO₂, con un subproducto como la ceniza de eucalipto, se ofrece una oportunidad para reducir la huella ambiental y promover la economía circular al dar un uso útil a un residuo industrial. La investigación también busca comprender cómo esta sustitución afecta las propiedades del concreto, en particular su resistencia a la compresión, lo cual es esencial para garantizar la seguridad y calidad del material utilizado en construcción. En última instancia, este estudio

representa un avance importante hacia prácticas más sostenibles en la industria de la construcción.

Es por ello que se realizó este estudio con el propósito de determinar la variación de la resistencia a compresión de un concreto de $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$ al sustituir el cemento Portland tipo I por ceniza de eucalipto. Los resultados obtenidos en esta investigación serán de gran utilidad no solo para futuras investigaciones que aborden temas similares, sino también para aplicación en construcción de obras civiles.

1.5. Alcances o delimitación de la investigación

1.5.1. Alcances

- Se realizó un análisis de las características físicas y mecánicas de los materiales granulares que serán utilizados como componentes principales en la elaboración de un concreto con una resistencia a la compresión $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$.
- Se determinó la viabilidad técnica de utilizar concretos con ceniza de eucalipto en aplicaciones específicas de construcción, considerando requisitos de resistencia a compresión.
- El presente estudio se determinó cómo cambia la resistencia a compresión de un concreto con $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$ cuando se reemplaza parte del cemento Portland tipo I con diferentes proporciones de ceniza de eucalipto (5%, 10% y 15%). La evaluación se realizará a los 7, 14 y 28 días de curado.

1.5.2. Delimitación

1.5.2.1. Delimitación temporal

- La investigación se desarrolló durante el periodo comprendido entre agosto y noviembre del año 2024

1.5.2.2. Delimitación espacial

- Lugar de estudio: Ciudad de Cajamarca, Perú.

- Ubicación específica de materiales:
 - Agregados (fino y grueso): Cantera "Aguilar" – Baños del Inca
 - Ceniza de Eucalipto: Proveniente de la ciudad de Cajamarca.

1.5.2.3. Delimitación experimental

- Reemplazo porcentual en peso del cemento Portland tipo I por ceniza de eucalipto en porcentajes de 5%, 10% y 15%.

1.6. Limitaciones

- La principal limitación de la investigación radica en que no se realizaron ensayos de resistencia a flexión, tensión y corte. Los resultados obtenidos son únicamente válidos para los agregados de la cantera "Aguilar", el cemento Portland tipo I y la ceniza de eucalipto provenientes de la ciudad de Cajamarca.

1.7. Objetivos

1.7.1. Objetivo general

- Determinar la variación de la resistencia a compresión de un concreto de $f'_c=210 \text{ kg/cm}^2$ al sustituir el cemento Portland tipo I por ceniza de eucalipto.

1.7.2. Objetivos específicos

- Determinar las propiedades físico mecánicas de los agregados que conforman el concreto de $f'_c=210 \text{ kg/cm}^2$.
- Determinar el Slump en función del nivel de reemplazo de cemento tipo I por ceniza de eucalipto.
- Determinar el cambio del peso volumétrico de un concreto de $f'_c=210 \text{ kg/cm}^2$ al sustituir en diferentes niveles el cemento Portland tipo I por ceniza de eucalipto.

1.8. Descripción de los contenidos de los capítulos

- **Capítulo I: introducción.** Se presentó el planteamiento y formulación del problema, hipótesis, las justificaciones, los alcances, delimitaciones y los objetivos de la investigación.
- **Capítulo II: marco teórico.** Muestra los antecedentes teóricos tanto internacionales, nacionales y locales. También las bases teóricas y las definiciones de términos básicos relacionados con este estudio.
- **Capítulo III: materiales y métodos.** Se hace referencia a las herramientas, equipos y/o materiales utilizados. Además, también se discute la metodología para realizar esta investigación.
- **Capítulo IV: análisis y discusión de resultados.** Se describió el procesamiento realizado, la discusión e interpretación de los datos obtenidos en campo.
- **Capítulo V: conclusiones y recomendaciones.** Finalmente, se presentó las conclusiones y recomendaciones obtenidas como resultado final de esta investigación.
- **Referencias bibliográficas**
- **Anexos**

CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes teóricos

2.1.1. Antecedentes internacionales

Ferreira et al. (2019), en su estudio “Estudio inicial de la Ceniza de Madera de Eucalipto (EWA) como mineral aditivo en concreto”, evalúa la viabilidad de usar la ceniza de madera de eucalipto producto de hornos aviarios en la elaboración de concreto en la ciudad de Novo Itacolomi, Brasil. Para la elaboración del concreto, se ha tenido en cuenta la selección del concreto Portland de alta resistencia más puro (95% de Clinker y 5% de minerales calcáreos), agregados finos y gruesos y las cenizas de eucalipto se prepararon pasando por un tamiz de malla #100. Se estudiaron cinco tipos de concreto, con una adición de 10%, 15% y 20% de EWA en una dosificación 1:2:3 (C:AF:AG) y una relación A-C de 0.55. En relación a la resistencia a compresión del concreto, las muestras con un 10% de adición de EWA, comprometió gradualmente la resistencia a compresión; mientras que, los de 15% y 20% de EWA, presentó aumentos menores en su resistencia. Concluyendo que, mientras más es el porcentaje de este material, más compromete la resistencia a compresión; además de que, si este material orgánico es molido, puede adherirse mayor a un agregado fino y ya no actuaría como aditivo, diluyendo a los agregados grandes y ganando resistencia residual.

Correa et al.(2023), en su artículo de investigación “Revisión de las propiedades físico – mecánicas del hormigón con incorporación de ceniza de madera”, Universidad del Valle-Colombia, tiene como objetivo estudiar y determinar la influencia y el comportamiento de las cenizas de madera en las propiedades mecánicas. Se busca disminuir los efectos negativos de la industria de la construcción, y en el ambiente; utilizando porcentajes de cenizas de madera en un porcentaje de 0%, 5%, 10%, 15% y 20%, de los que se determinaron su resistencia a compresión, obteniendo un aumento gradual, en función de su cantidad. De la cual, se concluye que el empleo de estas cenizas, mejoran el comportamiento físico-mecánico cuando son

adheridos en un 5% al 15%, incrementando en un 76% su resistencia a compresión; hablando en lo ambiental, el uso de estas cenizas, disminuye la contaminación, además de ser accesibles. La incorporación de residuos de ceniza de madera, traen un óptimo rendimiento en la resistencia y durabilidad en el concreto, favoreciendo al sector de la construcción.

Araujo & Laza (2020), en su investigación “Análisis de los efectos de la ceniza de biomasa como sustituto parcial del cemento en la elaboración de concreto simple”, Colombia, busco analizar los efectos de usar cenizas de biomasa en el concreto para ello uso la ceniza derivada del estiércol bovino, debido a sus características químicas y físicas, se identifica como un material adecuado para sustituir parcialmente al cemento en la elaboración de concreto, gracias a su destacada actividad puzolánica que la sitúa por encima de la ceniza volante, utilizada comúnmente con este propósito. Esta investigación sugiere que el reemplazo óptimo es del 15% de ceniza ya que, si va subiendo la cantidad de cenizas en la mezcla, está baja la resistencia del concreto, y que la temperatura ideal de quemado para obtener ceniza con partículas que mejoren las propiedades del hormigón está entre los 500°C y 650°C, para no perder las propiedades químicas. La molienda de la ceniza podría ofrecer beneficios significativos al estudiar la resistencia a la compresión del concreto, subrayando la importancia del análisis del tamaño de partícula que interviene en este proceso.

2.1.2. Antecedentes nacionales

Ñahui (2023), en su investigación “Utilización de la ceniza de madera de eucalipto como reemplazo del cemento para el concreto $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ ”, Huancayo, tuvo como objetivo principal determinar la influencia de la ceniza de madera de eucalipto con el reemplazo parcial en el concreto $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ por lo cual luego de sus ensayos conformada por 15 ensayos sin ceniza de madera de eucalipto y 45 ensayos con ceniza de madera de eucalipto en diferentes porcentajes (2%, 4% y 6%), concluyo que; la adición de ceniza modifica el slump con reducciones del 6.25% a 2% de adición, incrementos del 12.5% a 4% y nuevas reducciones del

6.25% a 6%. Asimismo, afecta el peso específico con aumentos del 1.07% a 2% de adición y reducciones del 2.09% y 3.32% a 4% y 6%, respectivamente. El contenido de aire varía con incrementos del 25% a 2% de adición, seguido de reducciones del 37% y 5% a 4% y 6%. Más notable aún es el aumento en la resistencia a la compresión, alcanzando mejoras del 1.84%, 4.54% y 8.60% con adiciones del 2%, 4% y 6% de ceniza de madera de eucalipto, respectivamente. Además, se identificó una reducción en los costos de preparación del concreto, con ahorros del 1.28%, 2.56% y 3.85% a los mismos niveles de adición. Estos resultados destacan el potencial de la ceniza de eucalipto no solo para mejorar propiedades mecánicas del concreto, sino también para optimizar su trabajabilidad y densidad, representando una opción económicamente viable en la construcción.

Mejia (2022), en su tesis “Incorporación de las cenizas de eucalipto para mejorar las propiedades físicas mecánicas del concreto $f^c = 210 \text{ kg/cm}^2$ en VMT, Lima 2022” tuvo como finalidad analizar si al incorporar cenizas de eucalipto en el diseño del concreto de 210 kg/cm^2 , mejorar sus propiedades físico mecánicas, para ello se usó cuatro muestras con diferentes porcentajes de incorporación de cenizas dando como conclusión que la incorporación de cenizas de eucalipto no mejora las propiedades físico-mecánicas del concreto con resistencia $f^c = 210 \text{ kg/cm}^2$ a las edades de 7, 14 y 28 días. Al analizar la resistencia a la compresión, se observó que el concreto con adiciones de 3%, 5% y 10% de cenizas de eucalipto muestra una disminución gradual en su resistencia de hasta un 32% en comparación con el diseño patrón promedio. Similarmente, la resistencia a la tracción disminuyó hasta un 21% en las mismas condiciones. Además, el slump del concreto con cenizas de eucalipto se mantuvo dentro de un rango plástico de 3.2 a 3.4 pulgadas, comparado con el slump del diseño patrón de 3.1 pulgadas, lo cual indica una leve modificación en las propiedades de trabajabilidad del concreto con la adición de cenizas de eucalipto.

Cueto (2023), en su investigación “Influencia de la adición de ceniza de carbón de madera reciclada en la resistencia a la compresión y tracción por compresión diametral del concreto $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$, Lima 2023” tuvo como objetivo determinar el efecto de la ceniza de carbón de madera en las propiedades mecánicas del concreto, al ser remplazado un porcentaje del cemento por este material. Se realizó cuatro diseños para un $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$, para posteriormente reemplazar cemento por ceniza de madera en un 10%, 12.5% y 15%. En los ensayos se ha obtenido, que el asentamiento disminuye en proporción a la cantidad de ceniza reemplazada. Y que el diseño más recomendable es el de 10% de ceniza de carbón y 90% de cemento logrando mejoras en la resistencia a compresión del 1.4% y del 3.27% para la resistencia a tracción.

Osorio (2022) ,en su tesis “Influencia de cenizas de carbón de madera de eucalipto en la resistencia de concreto estructural $f'c =210 \text{ Kg/cm}^2$ en Pasco 2021” tuvo como finalidad conocer la influencia de las cenizas de carbón de eucalipto en la resistencia del concreto estructural de 210Kg/cm^2 , para ello, se ensayó 36 muestras con incorporación de cenizas donde se obtuvo la adición óptima de cenizas de eucalipto es del 2%, donde se alcanza una resistencia de 243.74 kg/cm^2 , representando un incremento del 13% respecto al concreto patrón. Además, se observa que incrementar el porcentaje de agregados gruesos mejora la resistencia del concreto patrón, explicando los valores altos registrados. Cambios significativos no se observan con porcentajes menores al 0.5%. La presencia de material puzolánico y agregados finos de tamaño menor al tamiz 400 contribuyen positivamente al aumento de la resistencia y mejoran la trabajabilidad y fluidez del concreto cuando están presentes en cantidades adecuadas. Estos resultados subrayan la viabilidad de utilizar cenizas de eucalipto como adición en concretos estructurales, optimizando tanto su resistencia como sus propiedades de trabajabilidad.

2.1.3. Antecedentes locales

Gamero (2021), en su tesis “Caracterización de los tipos de ceniza utilizados en concreto, mortero y adobe, Cajamarca 2020” plantea determinar el comportamiento de los diferentes tipos de ceniza y su impacto en el concreto, mortero y adobe al ser usado como un aditivo natural. En su estudio destaca que la ceniza de hoja de eucalipto (CHE) tiene beneficios significativos en el concreto, particularmente en la mejora de la resistencia a la compresión, con una influencia positiva del 10.66%. Este tipo de ceniza ha superado a la ceniza volante (CV) en este aspecto específico. Estos resultados subrayan que la ceniza de hoja de eucalipto es particularmente efectiva en incrementar la resistencia del concreto, superando otras variedades de cenizas en las investigaciones revisadas.

Silva (2018), en su investigación “Resistencia de mortero $f'c=210$ kg/cm² sustituyendo al cemento en 15% por ceniza de material no maderable de Schimus Molle L.”, Cajamarca, presenta como objetivo elaborar un concreto en el que se reemplace el cemento en un 15% por materia no maderable producto de las hojas, ramas del Molle de la ciudad de Cajamarca. Se seleccionó esta planta por ser la más accesible en la ciudad y por sus propiedades como la resistencia a la humedad ante climas cálidos. Obteniendo que, en el ensayo de resistencia a compresión a los 7 días se alcanzó una resistencia al 58.60%, a los 14 y 28 días se tiene un 60.59% y 100% respectivamente, siendo la resistencia a compresión la esperada, por lo que la propuesta del uso de ceniza de Schimus Molle L. es eficiente para el mortero.

Angulo (2019), en su tesis titulada “Influencia de la adición al 2%, 3% y 5% de ceniza volante en las propiedades físico-mecánicas del mortero de cemento en Cajamarca, 2019” tuvo como finalidad determinar la influencia de la adición de cenizas en el mortero, en la cual se evaluó 108 probetas de mortero de concreto. Como conclusión de su investigación se obtuvo que Se encontró que las adiciones del 2% y 3% mantienen la resistencia a compresión axial, aunque no superan la resistencia del mortero estándar. El porcentaje de absorción se asemeja

al mortero estándar con un 2%, pero aumenta significativamente con un 3% y 5%. La capilaridad se reduce un 29.6% con un 2%, pero aumenta un 16.52% con un 3% y disminuye un 2.49% con un 5%. La hipótesis se cumple parcialmente, mostrando que un 2% de ceniza volante mejora las propiedades físico-mecánicas del mortero, mientras que mayores adiciones deterioran estas propiedades.

2.2. Bases teóricas

2.2.1. El concreto

El concreto es el material más utilizado en el sector de la ingeniería civil, por sus propiedades físico – mecánicas, versatilidad y accesibilidad por el bajo costo. Este material es un compuesto de cemento Portland, partículas de arena y grava, con agua y en algunas ocasiones con aditivos que ayuden en la trabajabilidad o mejora de algunas propiedades. Estas propiedades están definidas por la dosificación que se considere para su mezcla y por el tipo de fraguado. Esta se prepara en un estado fluido y visco, y para adoptar forma se utiliza moldes para el vaciado de este concreto (Cordero et al.,2018).

Según la definición del ACI (2014), el concreto es una mezcla de cemento Portland o cualquier otro cemento hidráulico con agregado grueso, agregado fino, agua. En determinadas circunstancias, también se pueden incluir aditivos especiales para modificar sus propiedades.

La Normativa NTP 339.047 (2016), define al concreto como una combinación que incorpora un material aglutinante junto con agregados de diferentes tamaños, tanto finos como gruesos. Si bien tradicionalmente se emplea cemento Portland y agua como elementos aglomerantes básicos, existe la posibilidad de incorporar otros componentes como puzolanas, escorias o diferentes aditivos de naturaleza química.

2.2.1.1. Clasificación del concreto

Existen diferentes consideraciones para la clasificación del concreto, presentando alguna de ellas (Cordero et al., 2018):

- Según el tamaño máximo de su agregado grueso.
- Según su consistencia.
- Según la resistencia a la compresión.
- Según su peso unitario.
- Según la exposición y durabilidad.

2.2.2. Propiedades del concreto fresco

a. Trabajabilidad

El concepto de trabajabilidad es inherentemente subjetivo y difícil de definir con precisión. Si bien existen diversas definiciones que intentan establecer parámetros medibles, estos varían según el criterio de cada evaluador. No obstante, es fundamental establecer una definición apropiada, especialmente para los concretos de alto desempeño. Una definición relevante fue propuesta por Glanville, Collins y Matthews, quienes plantearon que "la trabajabilidad es la cantidad de trabajo interno útil necesario para lograr una compactación total". Esta conceptualización se basa en considerar la fricción interna (esfuerzo de fluencia) como una característica propia de la mezcla, lo que permite una aproximación cuantitativa al concepto. Sin embargo, presenta una limitación al referirse a una compactación total, meta que en la práctica es inalcanzable. Por ello, se sugiere una modificación más realista: "la trabajabilidad puede definirse como la cantidad de trabajo interno útil necesario para alcanzar una compactación adecuada de la mezcla". Esta nueva definición mantiene la esencia del concepto original, pero con un enfoque más práctico y alcanzable. (Portugal,2017).

Actualmente, no existe un método directo para cuantificar esta característica, por lo que se recurre principalmente a pruebas que evalúan la consistencia. Cabe destacar que el elemento más determinante en la trabajabilidad es el contenido de agua presente en la mezcla del concreto.

b. Consistencia

La consistencia es una propiedad que determina el contenido de humedad de una mezcla por qué tan fluida es en general, cuanto mayor sea el contenido de humedad en la mezcla, más fácil será que el concreto fluya durante el vertido (Rivva, 2019).

- **Ensayo de consistencia del concreto**

La prueba de revenimiento o "slump test", también conocida como ensayo de consistencia, se emplea para evaluar las características del concreto en su estado fresco. Este método fue originalmente creado por Duft Abrams, y posteriormente fue aceptado por el ASTM en 1921, con una última actualización en 1978. La prueba se realiza colocando y compactando concreto fresco dentro de un molde de forma cónica truncada. Una vez retirado el molde, se mide cuánto desciende la mezcla. Este descenso indica la consistencia del concreto, es decir, su habilidad para adaptarse fácilmente a los encofrados (Matallana, 2019).

Tabla 1. Consistencias recomendadas (Asentamiento) según el tipo de construcción.

Tipos de Estructuras	Slump	
	Máximo	Mínimo
Zapatas y muros de cimentación reforzados	3"	1"
Cimentaciones simples y calzaduras	3"	1"
Vigas y muros armados	4"	1"
Columnas	4"	2"
Losa y pavimentos	3"	1"
Concreto ciclópeo	2"	1"

Fuente: Adaptado de Matallana ,2019

c. Peso unitario del concreto

La masa por unidad de volumen del concreto se conoce como peso unitario. Esta característica resulta relevante ya que facilita la comparación entre el peso real del concreto y sus especificaciones de diseño, permitiendo así evaluar aspectos como su nivel de porosidad y capacidad de absorción (Abanto ,2017).

La densidad o peso unitario del concreto no es constante, sino que fluctúa según diversos factores: la proporción de aire que queda naturalmente atrapado o que se incorpora de manera deliberada, el peso específico del agregado grueso utilizado, así como las cantidades de agua y cemento que componen la mezcla (Abanto, 2017).

2.2.3. Componentes del concreto

- **Cemento:** Este material se produce mediante dos procesos principales: primero, la calcinación de materiales que contienen calcio y arcilla, y segundo, la pulverización del Clinker. Para garantizar su calidad, debe cumplir con tres características fundamentales: presentar una alta concentración de silicato tricálcico, contar con un módulo de finura elevado y mantener una composición química que sea consistente y homogénea (Matallana, 2019).
- **Agregado fino:** Proveniente de manera natural o artificial debe estar bien graduada, limpia, libre de impurezas y materia orgánica, dura con no más de 5% de materia arcillo-limosa y un módulo de finura controlado, menor a $\frac{1}{4}$.

El agregado fino no debe tener más de 45% entre dos mallas consecutivas y su módulo de fineza no será menor de 2,3 ni mayor de 3,1 (NTP 400.037, 2021).

Debe tener la gradación según los límites siguientes:

Tabla 2. Requerimiento granulométrico del agregado fino

Tamiz	Porcentaje que Pasa
9,5 mm (3/8 pulg)	100
4,75 mm (No. 4)	95 a 100
2,36 mm (No. 8)	80 a 100
1,18 mm (No. 16)	50 a 85
600 μm (No. 30)	25 a 60
300 μm (No. 50)	10 a 30
150 μm (No. 100)	2 a 10

Fuente: NTP 400.037, 2021.

Normas técnicas para realización de ensayos en el agregado fino.

- ✓ NTP 400.017.- Ensayo del peso unitario suelto compactado.
- ✓ NTP 339.185.- Ensayo de contenido de humedad.

✓ NTP 400.037.-Ensayo de Inalterabilidad del agregado fino.

▪ **Agregado grueso:** Los agregados gruesos pueden estar compuestos por diferentes materiales: pueden ser gravas naturales, piedras que han sido trituradas mecánicamente, hormigón reciclado, o una mezcla de estos elementos. Estos deben ser de tamaño pequeño y alta densidad. Tiene que presentar una buena resistencia mecánica, bajo nivel de absorción y buena adherencia. (NTP 400.037, 2021)

Normas técnicas para realización de ensayos en el agregado grueso.

NTP 400.021.- Ensayo de peso específico y absorción del agregado grueso.

NTP 400.017.- Ensayo del peso unitario suelto.

NTP 400.017.- Ensayo del peso unitario suelto compactado.

NTP 339.185.- Ensayo de contenido de humedad.

NTP 400.037.- Sustancias deletéreas.

El agregado grueso debe cumplir los límites de sustancias deletéreas como se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 3. Límites de sustancias deletéreas en el agregado grueso

Ensayo	% Total de la Muestra (Máx.)
Terrones de arcilla y partículas friables	5,0
Material más fino que la malla normalizada 75 μm (No. 200)	1,0A
Horsteno (menos de 2.40 de densidad) 5.0B Carbón y lignito	5.0B
Cuando la apariencia del concreto es importante	0,5
Otros concretos	1,0

Fuente: NTP 400.037, 2021

Donde;

A: Este porcentaje se puede aumentar al 1,5% si el material está esencialmente libre de limo y arcilla.

B: Sólo en casos de intemperismo moderado (el concreto usado al aire libre está constantemente expuesto a congelación y descongelación mientras está húmedo) Adaptado de (NTP 400.037, 2021)

- **Agua:** Basta que cumpla con las normas generales para el concreto; debe estar limpio y libre de ácidos, álcalis, sales y toda materia orgánica.

El agua debe cumplir con los requisitos de la norma (NTP 339.088, 2021)

Tabla 4. Límites permisibles de sales y sustancia presentes en el agua

Sustancias Disueltas	Valor Máximo Admisible
Cloruros	300 ppm
Sulfatos	300 ppm
Sales de magnesio	150 ppm
Sales solubles totales	500 ppm
pH	Mayor de 7
Sustancias Disueltas	Valor Máximo Admisible
Sólidos en suspensión	1500 ppm
Materia orgánica	10 ppm

Fuente: (NTP 339.088, 2021)

2.2.4. Cemento Portland

El cemento Portland es un material de construcción que pertenece a la categoría de cementos hidráulicos. Su principal característica es que reacciona y se solidifica cuando entra en contacto con agua, gracias a sus componentes principales que son los silicatos de calcio hidráulicos. Este cemento se obtiene mediante un proceso que consiste en moler finamente el Clinker, un compuesto que contiene principalmente silicatos de calcio hidráulicos y proporciones específicas de varios elementos: calcio, sílice, alúmina y hierro. (CEMEX, 2019)

De acuerdo con las normas técnicas peruanas (NTP 334.090, 2020), existen cinco clasificaciones principales de cemento:

- **Cemento Tipo I:** Es el más versátil, siendo la opción predeterminada para construcciones generales cuando no hay requerimientos específicos que demanden el uso de otras variedades. (NTP 334.009, 2020)
- **Cemento Tipo II y Tipo II (MH):** Para construcciones que necesitan resistencia moderada a los sulfatos o requieren controlar el calor de hidratación, se recomienda el uso de los cementos Tipo II y Tipo II (MH). (NTP 334.009, 2020)
- **Cemento Tipo III:** Cuando se necesita una resistencia temprana elevada, el cemento Tipo III es la mejor opción. Este logra en solo tres días la misma resistencia que los Tipos I y II alcanzan en 28 días (NTP 334.009, 2020).
- **Cemento Tipo IV:** Se caracteriza por su capacidad de generar un calor de hidratación reducido durante el fraguado. (NTP 334.009, 2020)
- **Cemento Tipo V:** Está diseñado específicamente para entornos con alta presencia de sulfatos. Es ideal para construcciones hidráulicas expuestas a aguas alcalinas o marinas. (NTP 334.009, 2020)

2.2.4.1. Composición química del cemento

De acuerdo con Abanto (2017), el cemento Portland está constituido principalmente por cuatro componentes químicos que se expresan como óxidos: sílice, alúmina, cal y óxido férrico. Estos elementos representan entre el 95% y 97% de su composición total. Adicionalmente, contiene otros componentes en proporciones menores, como magnesia, anhídrido sulfúrico y álcalis, entre otros.

Durante el proceso de fabricación del Clinker de cemento Portland, estos óxidos se combinan con los componentes ácidos de la materia prima durante la fase de calcinación. Los compuestos principales conforman aproximadamente del 90% al 95% del cemento, mientras

que el porcentaje restante está formado por compuestos secundarios de menor relevancia (Abanto, 2017). Aquí están los componentes principales

Tabla 5. Composición química del cemento

Nombre del Componente	Composición Oxida	Abreviatura
Silicato de tricálcico	3CaO.SiO ₂	C3S
Silicato de bicálcico	2CaO.SiO ₂	C2S
Aluminio de tricálcico	3CaO.Al ₂ O ₃	C3A
Aluminio Ferrato	4CaO.Al ₂ O ₃ .Fe ₂ O ₃	C4AF

Fuente: Adaptado de Abanto, 2017.

2.2.5. Curado de las probetas de concreto

El proceso de curado del concreto consiste en mantener las condiciones óptimas de temperatura y humedad durante el tiempo que dura la hidratación del cemento. Esto significa garantizar que el concreto conserve un nivel apropiado y constante de humedad, así como una temperatura adecuada, lo cual permite que el material desarrolle todas las características y propiedades que se buscan obtener (Matallana,2019).

2.2.5.1. Método de curado por inmersión

El método de curado de concreto mediante la inmersión total de especímenes en agua es reconocido como una de las técnicas más efectivas para este propósito. Este procedimiento garantiza resultados óptimos y permite alcanzar niveles de resistencia más confiables en comparación con otros métodos. Sin embargo, presenta desafíos operativos importantes, pues es necesario que la pieza de concreto se encuentre totalmente cubierta por agua durante el proceso (Matallana,2019).

2.2.6. Propiedades del concreto endurecido

2.2.6.1. Resistencia a la compresión

La resistencia a compresión es una característica fundamental que indica la fortaleza mecánica del cemento, medida en kilogramos por centímetro cuadrado. Esta propiedad varía

según diversos factores, incluyendo: El tipo de muestra utilizada, las proporciones de los materiales, Cómo se realiza la mezcla, los métodos de toma de muestras y moldeado, El tiempo de curado, las condiciones de temperatura durante el proceso y curado.

De acuerdo a la Norma Técnica Peruana 334.051 del 2021, para evaluar esta resistencia se debe: Someter los cilindros moldeados a una fuerza de compresión axial controlada hasta que fallen, calcular la resistencia dividiendo la carga máxima entre el área transversal del cilindro y asegurar que todas las muestras de la misma edad se rompan dentro de los intervalos de tiempo establecidos por la norma que a continuación se detalla:

Tabla 6. Edad de ensayos y tolerancias permitidas de las probetas cilíndricas

Edad de ensayo	Tolerancia permisible
24 h	$\pm 0.5 h$ o 2.1%
d	$\pm 2 h$ o 2.8%
7d	$\pm 6 h$ o 3.6%
28d	$\pm 20 h$ o 3.0%
90d	$\pm 48 h$ o 2.2%

Fuente: Adaptado de la NTP 334.051 (2021)

2.2.6.2. Peso unitario del concreto (Densidad)

Según Matallana (2019), La densidad del concreto se define como el resultado de dividir su masa entre su volumen. Esta propiedad varía según la cantidad y proporción de los materiales utilizados en su composición. Cuando hablamos de un concreto con densidad considerada normal, esta suele oscilar en un rango que va desde los 2000 hasta los 2600 kilogramos por metro cúbico.

2.2.7. Cenizas de madera de eucalipto

Según Cruzado y Olivera (2022), llevaron a cabo un análisis para determinar las propiedades físicas y químicas de las cenizas provenientes de la madera de eucalipto. Este estudio formó parte de su investigación titulada "Evaluación de las cenizas de hoja y de madera del eucalipto en el concreto $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$ ", realizada en Patate, La Libertad, durante el año 2022. El propósito de esta caracterización fue comprender cómo se comportaría este material al incorporarlo en una mezcla de concreto. Los resultados de dicho análisis fueron organizados y presentados en la siguiente tabla.

Tabla 7. Composición química de la ceniza de madera de eucalipto

Composición química	
Oxido de calcio, CaO	Trióxido de hierro, Fe ₂ O ₃
Dióxido de silicio, SiO ₂	Oxido de bario, BaO
Trióxido de azufre, SO ₃	Pentóxido de fósforo, P ₂ O ₅
Oxido de magnesio, MgO	Oxido de Zinc, ZnO
Dióxido de manganeso, MnO ₂	Oxido de cobre, CuO
Trióxido de aluminio, Al ₂ O ₃	Trióxido de cromo, Cr ₂ O ₃

Fuente: Extraído de (Cruzado & Olivera, 2022)

La ceniza de madera de eucalipto presenta componentes químicos como el óxido de calcio, dióxido de silicio y trióxido de aluminio, los cuales son materiales cementantes. (Cruzado & Olivera, 2022)

2.2.8. Las cenizas y su efecto en la resistencia a compresión del concreto

Siendo el concreto uno de los materiales más usados en el sector de la construcción y su uso en diferentes tipos de obras, da la necesidad de buscar diferentes alternativas para mejorar sus propiedades. Existen diferentes estudios que avalan el uso de las cenizas como

material aditivo en el concreto; por ejemplo, se tiene que, (Abbas, Arshad, Abbas, & Ahmed, 2020) al usar estas cenizas como componente aditivo en un concreto, aumenta la resistencia a compresión; por otro lado, ayuda a minimizar el impacto ambiental que genera la producción de cemento, ya que al ser reemplazado por este material de desecho orgánico, estos dejarían a la vez de contaminar al ya no encontrarse expuestos al ser almacenados.

Hablando de manera general, la contaminación que causa las cenizas en el ambiente, puede hacer variar las condiciones del suelo, aire y agua. Por lo que, su reciclaje para el uso en el sector de la construcción puede traer consigo la creación de nuevos modelos de diseño de mezcla con el fin de que la resistencia no se vea afectada y no altere la calidad y propiedades que caracterizan a este material tan importante, como el concreto. (Angaspilco et al., 2021)

El análisis de varios estudios ha demostrado que la incorporación de cenizas de carbón, son recomendables para la resistencia y disminución de la porosidad, pero en corto periodo de tiempo, desempeñándose mejor para un mayor tiempo de curado, superior a los 28 días (Carsana et al.2016). La resistencia aumenta en un 18% - 20% a los 20 días de curado y reemplazando el cemento por este material, la resistencia varía entre un 10% y un 30%. Además de recomendar tras varias pruebas sustituir el 10%, y si baja la resistencia puede depender de la temperatura de curado, por lo que recomiendan entre 0 y 7.5%. (Angaspilco, et al., 2021)

2.3. Definición de términos básicos

- **Resistencia a la compresión:** la resistencia a compresión es la capacidad de un material para soportar fuerzas que tienden a reducir su tamaño (Ramírez, 2021). En concreto, se refiere a la máxima carga que un espécimen de concreto puede soportar antes de romperse o fallar, medida en una prensa de compresión (Cruz, 2020).
- **Concreto:** el hormigón o concreto es un material constructivo formado principalmente por dos elementos fundamentales: los agregados y un componente aglutinante llamado pasta. Esta pasta está formada por una mezcla de cemento Portland y agua que actúa como

adhesivo natural, uniendo los diferentes agregados (típicamente arena y distintos tipos de grava, como piedra triturada o pedrejón). Al producirse una reacción química entre el agua y el cemento, la pasta se endurece, dando como resultado un material con características similares a la roca natural. La mezcla puede enriquecerse con diversos materiales cementantes adicionales y aditivos minerales que se incorporan a la pasta para lograr propiedades específicas en el producto final. (Institute American Concrete, 2022).

- **Ceniza de Eucalipto:** la ceniza de eucalipto es un residuo de la quema de madera de eucalipto que puede ser utilizada como material suplementario en mezclas de concreto, proporcionando ciertas propiedades beneficiosas dependiendo de su composición química (Abbas et al., 2020).
- **Cemento Pórtland tipo I:** el cemento Portland tipo I es un material de construcción que se obtiene al moler finamente el clinker. Este compuesto está formado principalmente por silicatos de calcio que tienen propiedades hidráulicas. En su composición pueden incluirse varios elementos adicionales como: agua, sulfato de calcio y hasta un 5% de piedra caliza, además de otros aditivos de procesamiento. Al ser un cemento de uso general, no necesita cumplir con características específicas como otros tipos de cemento. (ASTM C150, 2018).
- **Agregado fino:** el agregado fino está compuesto por partículas de tamaño menor a 4.75 mm (usualmente arena) y se utiliza para llenar los vacíos entre los agregados gruesos en la mezcla de concreto, mejorando la trabajabilidad y la cohesión de la mezcla (ASTM, ASTM C33 - AGREGADOS, 2018).
- **Agregado Grueso:** el agregado grueso está compuesto por partículas de tamaño mayor a 4.75 mm (usualmente grava o piedra triturada) y se utiliza en la mezcla de concreto para proporcionar resistencia y volumen a la mezcla, y para reducir la cantidad de pasta necesaria (ASTM, ASTM C33 - AGREGADOS, 2018).

- **Prueba de slump (consistencia):** es un método utilizado para medir la trabajabilidad o consistencia del concreto fresco. Consiste en medir el asentamiento de un cono invertido llenado con concreto, lo que proporciona una indicación de la fluidez de la mezcla (ASTM, ASTM C143-78, 2016).
- **Fraguado:** es el proceso mediante el cual el cemento y el agua reaccionan para formar una masa sólida. El tiempo de fraguado puede ser influenciado por aditivos y condiciones ambientales (Cordero et al., 2018).

CAPÍTULO III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Ubicación geográfica

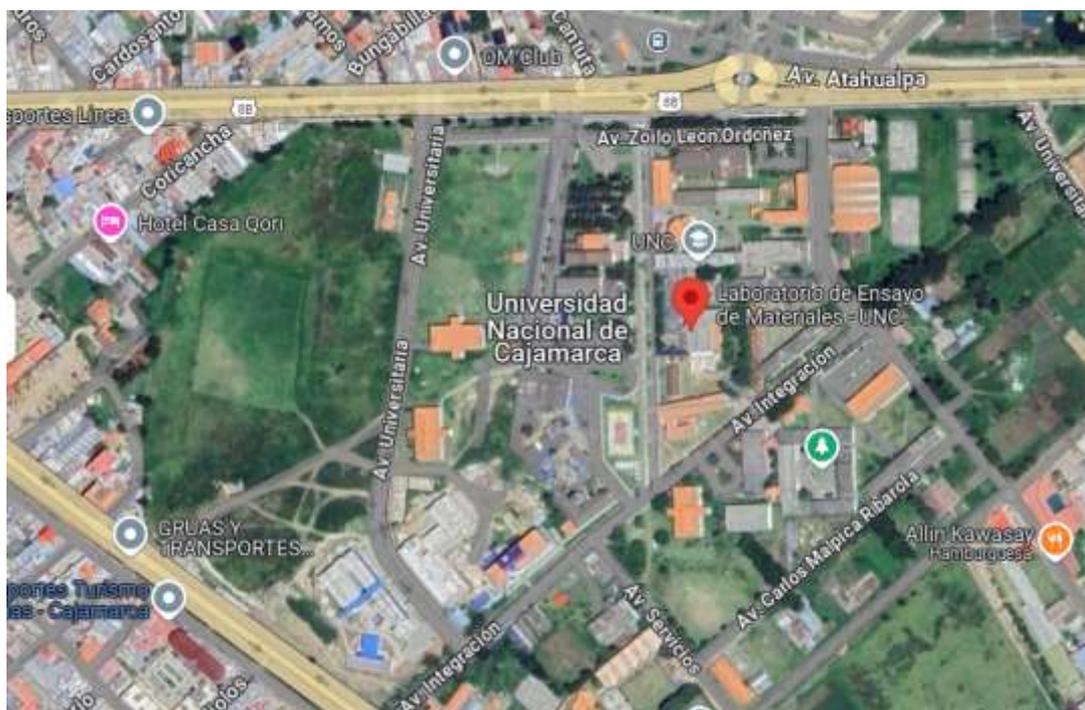
3.1.1. Ubicación geográfica del laboratorio

La investigación se realizó en la ciudad de Cajamarca, provincia y departamento de Cajamarca, en el laboratorio de Ensayo de Materiales “Mg. Ing. Carlos Esparza Diaz” de la Universidad Nacional de Cajamarca.

Tabla 8. Coordenadas UTM del Laboratorio de Ensayo de Materiales

COORDENADAS UTM – DATUM WGS 84	
NORTE:	9 206 995.85 N
ESTE:	776 619.31 E

Figura 1. Localización de LEM-UNC utilizados en la investigación



Fuente: Google maps.

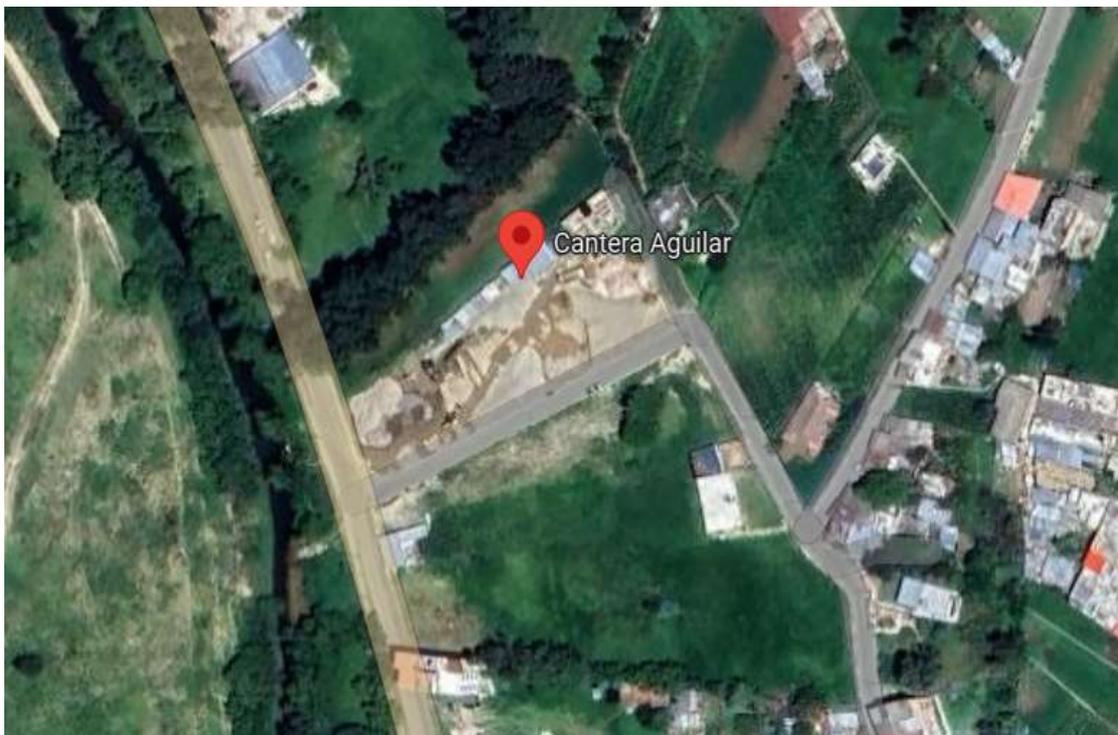
3.1.2. Ubicación geográfica de la cantera

Los agregados fueron de la cantera “Aguilar”. Esta cantera está situada en el trayecto que conecta Baños del Inca con Otuzco, específicamente antes de llegar al viaducto "La Unión". Se encuentra en el distrito de Baños del Inca, que forma parte de la provincia y departamento de Cajamarca.

Tabla 9. Coordenadas UTM de la cantera “Aguilar”

COORDENADAS UTM – DATUM WGS 84	
NORTE:	9 208 941.80N
ESTE:	779 910.90E

Figura 2. Ubicación geográfica de la cantera “Aguilar”



Fuente: Google maps.

3.2. Época de la investigación

El estudio investigativo fue llevado a cabo durante un período de cuatro meses, específicamente desde agosto hasta noviembre del año 2024.

3.3. Metodología de la investigación

3.3.1. Tipo, nivel, diseño y enfoque de la investigación

3.3.1.1. Tipo

Es una investigación *aplicada*, ya que se empleó conocimientos previos para generar nuevos saberes y contribuir de manera práctica al desarrollo de un campo específico de estudio.

3.3.1.2. Nivel

La investigación realizada es de un nivel *correlacional*, ya que buscó examinar el grado de conexión o asociación existente entre dos variables determinadas, sin establecer una relación de causalidad directa.

3.3.1.3. Diseño

El diseño que se utilizó fue *experimental*, porque se verificó la variación de la resistencia a compresión al sustituir cemento Portland tipo I por ceniza de eucalipto.

3.3.1.4. Enfoque

Cuantitativo, porque se realizó ensayos para ver en cuánto varía su resistencia a compresión del concreto cuando se sustituye el cemento Portland tipo I por la ceniza de eucalipto.

3.3.2. Variables

▪ Variable dependiente

X1: Resistencia a la compresión del concreto.

▪ Variable independiente

Y1: Porcentaje de sustitución del cemento Portland tipo I por ceniza de eucalipto.

3.3.3. Población de estudio

La población de estudio es el conjunto especímenes de concreto de $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$ al sustituir en diferentes porcentajes del peso del cemento Portland tipo I por cenizas de eucalipto.

- **Grupo I:** Especímenes cilíndricos de concreto, cada uno con dimensiones de 6 pulgadas de diámetro por 12 pulgadas de altura. Estos no contendrán ceniza de eucalipto y tendrán una resistencia a la compresión diseñada $f'_c=210$ kg/cm². Las muestras se someterán a pruebas de resistencia en tres etapas: se evaluarán después de 7 días de curado, otros a los 14 días, y los restantes se probarán a los 28 días.
- **Grupo II:** Especímenes cilíndricos de concreto, cada uno con dimensiones de 6 pulgadas de diámetro por 12 pulgadas de altura. Estos contendrán ceniza de eucalipto en un porcentaje (5%) en sustitución del peso del cemento Portland tipo I y tendrán una resistencia a la compresión diseñada $f'_c=210$ kg/cm². Las muestras se someterán a pruebas de resistencia en tres etapas: se evaluarán después de 7 días de curado, otros a los 14 días, los 5 restantes se probarán a los 28 días.
- **Grupo III:** Especímenes cilíndricos de concreto, cada uno con dimensiones de 6 pulgadas de diámetro por 12 pulgadas de altura. Estos contendrán ceniza de eucalipto en un porcentaje (10%) en sustitución del peso del cemento Portland tipo I y tendrán una resistencia a la compresión diseñada $f'_c=210$ kg/cm². Las muestras se someterán a pruebas de resistencia en tres etapas: se evaluarán después de 7 días de curado, otros a los 14 días, y los restantes se probarán a los 28 días.
- **Grupo IV:** Especímenes cilíndricos de concreto, cada uno con dimensiones de 6 pulgadas de diámetro por 12 pulgadas de altura. Estos contendrán ceniza de eucalipto en un porcentaje (15%) en sustitución del peso del cemento Portland tipo I y tendrán una resistencia a la compresión diseñada $f'_c=210$ kg/cm². Las muestras se someterán a pruebas de resistencia en tres etapas: se evaluarán después de 7 días de curado, otros a los 14 días, y los restantes se probarán a los 28 días.

3.3.4. Muestra

Se recolectaron 60 muestras en total. La fórmula que se presenta a continuación fue empleada para calcular el número de especímenes necesarios:

$$n = \frac{Z^2 \cdot p \cdot (1 - p)}{E^2}$$

Donde:

n = Tamaño de muestra

Z = Valor crítico de la distribución normal estándar

p = Proporción estimada de la población

E = Margen de error

Esta investigación se llevó a cabo con un nivel de confianza del 95.95%. Según la tabla de distribución normal (Anexo 08) en ítem a), este nivel corresponde a un valor crítico Z de 1.75. Se estimó una proporción poblacional (p) del 95.99%, basándose en el (Anexo 08) ítem b). El margen de error (E) se estableció en 4.44%. Estos parámetros fueron utilizados en la ecuación correspondiente para realizar los cálculos necesarios.

$$n = \frac{1.75^2 \cdot 0.9599 \cdot (1 - 0.9599)}{0.0444^2}$$

$$n = 59.797$$

$$n = 60$$

Después de determinar la dimensión de la muestra, se decidió utilizar 60 especímenes, los cuales se dividieron en cuatro grupos distintos. La muestra debe ser lo suficientemente grande como para permitir conclusiones sólidas y significativas, pero también manejable dentro de los recursos y el alcance del estudio.

Tabla 10. Detalle de la muestra

Tipo	Edad			Subtotal de Especímenes	Total, de Especímenes
	7 días	14 días	28 días		
Grupo I	5	5	5	15	60
Grupo II	5	5	5	15	
Grupo III	5	5	5	15	
Grupo IV	5	5	5	15	
Subtotal	20	20	20		
Total		60			

3.3.5. Unidad de análisis

La unidad de análisis está constituida por la resistencia a compresión, que contiene una combinación única de cemento Portland tipo I y ceniza de eucalipto.

3.3.6. Unidad de observación

La unidad de observación es el conjunto de probetas elaboradas, diseñadas para alcanzar una resistencia de 210 kg/cm². En estas se evaluó la variación de resistencia a compresión cuando se reemplaza parte del peso del cemento Portland tipo I por distintas cantidades de ceniza de eucalipto.

3.4. Procedimiento de la investigación

3.4.1. Extracción de los agregados para el concreto

El agregado fino y el agregado grueso fueron de la cantera “Aguilar”, se trajeron 0.5 m³ de cada agregado al laboratorio de la Universidad Nacional de Cajamarca.

3.4.2. Adquisición de la ceniza de eucalipto para el concreto

- La adquisición de ceniza se efectuó en el entorno urbano de Cajamarca
- Se llevó a cabo un estudio químico detallado de la ceniza proveniente del eucalipto, cuyos resultados se encuentran documentados en el **Anexo 06**
- Posterior a la obtención de la ceniza de eucalipto, se realizó un proceso de tamizado utilizando una malla número 100

3.4.3. Determinación de las propiedades de los agregados

En laboratorio se determinó las características de los agregados como: peso específico, densidad, curva granulométrica, resistencia a la abrasión, etc.

3.4.3.1. Peso específico y absorción del agregado grueso

Se ha llevado a cabo de acuerdo con las normativas pertinentes: **NTP 400.021/ ASTM C-127/ MTC E206**

- Empezamos este ensayo seleccionando el material, por lo que se empezó a cuartear (Coger partes opuestas y descartar las otras) a muestra
- Luego zarandeamos nuestro agregado grueso por el tamiz N° 4; todo lo retenido se utilizó para el respectivo ensayo.
- Luego se lavó la muestra hasta eliminar completamente el polvo u otras sustancias extrañas adheridas a la superficie de las partículas.
- Después se introdujo al horno con una temperatura de 110 ± 5 °C por un periodo de 24 horas.
- Luego se saca del horno y se dejó secar por un periodo de 1-3 horas; posteriormente se deja la muestra sumergida en agua por 24 horas.
- Después del periodo de inmersión, se sacó la muestra del agua y se secan las partículas rotándolas sobre un paño absorbente, hasta que se elimine el agua superficial visible.
- Una vez seca la muestra, se pesa para tener nuestro peso superficialmente seco; en este caso vendría a ser (B).
- A continuación, se coloca la muestra en el interior de la canastilla metálica y se determinó su peso sumergido en el agua, en este caso vendría a ser (C)
- Luego se introdujo al horno con una temperatura de 110 ± 5 °C por un periodo de 24 horas

- Finalmente se saca del horno y se deja enfriar así obteniendo nuestro peso de masa seca sin incluir el peso del recipiente es decir nuestro (A)

Cálculo:

Peso específico de masa ($P. e_m$)

$$P. e_m = \frac{A}{B - C}$$

Donde:

$P. e_m$ = Peso específico de masa.

A = Peso de la muestra secada en el horno (g)

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

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

Peso específico de masa saturado con superficie seca ($P. e_{m_{sss}}$)

$$P. e_{m_{sss}} = \frac{B}{B - C}$$

Peso específico aparente ($P. e_a$)

$$P. e_a = \frac{A}{A - C}$$

Absorción (%)

$$A_{bs} = \frac{B - A}{A} \times 100$$

3.4.3.2. Peso específico (Densidad relativa) y absorción del agregado fino

Se ha llevado a cabo de acuerdo con las normativas pertinentes: **NTP 400.022/ ASTM**

C-128/ MTC E205

- Primero se aplicó el cuarteo de la muestra correspondiente.

- Una vez seleccionado el material procedemos a saturarlo la muestra por un periodo de 24 horas.
- Pasada las 24 horas se procede a una decantación del agua de dicho material, luego se seca a temperatura ambiente la muestra.
- Una vez conseguida un contenido de humedad uniforme y un estado saturado superficialmente seco, se colocó el material en un molde cónico luego se consolida con 25 golpes de pisón al término del cual se aísla la superficie y se levanta el molde verticalmente. Si se queda en forma cónica y tiene cortada una parte de la punta desmoronada entonces la muestra está en estado superfinamente saturada (SSS).
- De esta muestra se cogió una parte y lo pesamos (S).
- Luego se pesó la fiola llena de agua hasta el menisco y anotamos el valor (B), posterior introducimos una muestra de 500g a la fiola y llenamos con agua hasta un nivel aproximado de 500 ml .
- Luego se pesó la fiola con el material y el agua (C).
- Para finalmente extraer la muestra y se llevó a secarlo en el horno a una temperatura de 110 ± 5 °C por un periodo de 24 horas registrar su peso (A).

Cálculo:

Peso específico de masa ($P. e_m$)

$$P. e_m = \frac{A}{B + S - C}$$

Donde:

$P. e_m$ = Peso específico de masa.

A= Peso de la muestra secada en el horno (g)

B = Peso de la fiola lleno de agua hasta la marca de 500ml (g)

C = Peso de la fiola + muestra + agua llenada hasta la marca de 500ml (g)

S = Peso de la muestra saturada superficialmente seca (g)

Peso específico de masa saturado con superficie seca ($P. e_{m\ sss}$)

$$P. e_{m\ sss} = \frac{S}{B + S - C} \times 100$$

Peso específico aparente ($P. e_a$)

$$P. e_a = \frac{A}{B + A - C} \times 100$$

Absorción (%)

$$A_{bs} = \frac{S - A}{A} \times 100$$

3.4.3.3. Análisis granulométrico del agregado grueso y fino

Se ha llevado a cabo de acuerdo con las normativas pertinentes: **NTP 400.012/ ASTM**

C-136/ AASHTO T-27/ MTC E204

a) Agregado grueso

- Se secó la muestra de agregado a una temperatura de 110 ± 5 °C en la estufa.
- Se seleccionó la cantidad de muestra a utilizar.
- Ordenamos de mayor a menor los tamices y en la parte inferior colocamos la cazoleta
- La muestra se vertió en los tamices y se agita, el material retenido en cada tamiz se pesó.
- Se calculó el % retenido en cada tamiz con la siguiente formula:

$$\% \text{ Retenido}_x = \frac{W_x}{W} \times 100$$

Donde:

$\% \text{ Retenido}_x$ = Porcentaje de muestra retenido en cada tamiz

W_x = Peso retenido en cada tamiz (g)

W = Peso total de la muestra (g)

- **Módulo de finura**

Según la NTP 400.11, p, 10; Para obtener el Módulo de Finura, se realizó el siguiente proceso: primero, tomar los porcentajes que han quedado retenidos de manera acumulada en cada tamiz de la serie establecida. Luego, estos porcentajes se suman entre sí, y finalmente, esta suma total se divide por 100 para obtener el resultado final. Se calculó con la siguiente formula:

$$MF_{AG} = \frac{\% \text{ Retenido Acumulado } \left(N^{\circ} 4, \frac{3''}{8}, \frac{3''}{4}, 1 \frac{1''}{2} \right) + 500}{100}$$

- **Tamaño máximo del agregado**

Según la NTP 400.11, p, 10; Es el tamaño del tamiz más reducido a través del cual puede atravesar la totalidad del agregado grueso que compone la muestra.

- **Tamaño máximo nominal**

Según la NTP 400.037 (2018); Es el tamiz de menor tamaño entre todos los utilizados en la secuencia, que retiene la muestra entre 5% y un 10%

b) Agregado fino

De acuerdo con la Norma Técnica Peruana (NTP) 400.012, el proceso es similar al que se ejecuta con el agregado grueso, con la distinción de que se requiere una cantidad mínima de 300 gramos de material para realizar el ensayo

- **Módulo de finura para el agregado fino**

Se calculó con la siguiente formula:

$$MF_{AF} = \frac{\% \text{ Retenido Acumulado } (N^{\circ} 100, N^{\circ} 50, N^{\circ} 30, N^{\circ} 16, N^{\circ} 8, N^{\circ} 4)}{100}$$

3.4.3.4. Densidad de masa (Peso unitario) del agregado grueso y fino

Se ha llevado a cabo de acuerdo con las normativas pertinentes: **NTP 400.017/ ASTM C-29/ MTC E203**

▪ **Cálculo del peso específico del agua**

- Se procedió a pesar la fiola vacía.
- Se lleno la fiola con agua hasta los 500ml aproximadamente y se esperó que se elimine todas las burbujas de aire.
- Finalmente se pesó la fiola con el agua y se utilizó la fórmula para los cálculos:

$$P_e = \frac{W_{f+a} - W_f}{V_f} \times 1000$$

Donde:

P_e = Peso específico del agua (Kg/m³)

W_f = Peso de la fiola (g)

W_{f+a} = Peso de la fiola más agua (g)

V_f = Volumen de fiola (cm³)

▪ **Cálculo del factor de calibración (f)**

- Primero se anotó el peso del recipiente con el cual se va a trabajar.
- Se llenó el recipiente con agua, percatándose que se elimine todas las burbujas de aire.
- Se procedió a pesar el recipiente con el agua.

Finalmente, se aplicó la formula:

$$F = \frac{W_{r+a} - W_r}{P_e}$$

Donde:

F = Factor del recipiente de medida (1/m³)

W_r = Peso del recipiente (g)

W_{r+a} = Peso del recipiente más agua (g)

P_e = Peso específico del agua (Kg/m³)

a) **Peso unitario suelto**

- Se pesó el recipiente vacío.
- Se puso con la cucharon del laboratorio el agregado en el molde, echando a una altura de 5cm en caída libre, hasta colmar el molde.
- Enrazamos con la regla o varilla y pesamos el molde con la muestra

Se utilizó la siguiente formula:

$$M = (G - T) * F$$

Donde:

M = Peso unitario del agregado fino o grueso (kg/m^3)

G = Peso del recipiente con el agregado (kg)

T = Peso del recipiente vacío (kg)

F = factor f del recipiente ($1/\text{m}^3$)

b) **Peso unitario compactado**

- Se realizó primero el cuarteo de la muestra y se echó con ayuda del cucharon de laboratorio al molde, se llenó hasta el primer tercio de su capacidad, se chusea con la varilla 25 veces en forma circular.
- Luego se agregó material hasta los $2/3$ de su capacidad y se vuelve a chusear con a varilla 25 veces de igual forma.
- Posterior se agregó material hasta que rebalse el molde, se chusea nuevamente y se enrasa el material al nivel del borde superior esto se hace con la varilla.
- Finalmente se pesó el molde con la muestra para determinar el peso unitario compactado se utilizó la misma fórmula que para el peso unitario suelto.

3.4.3.5. **Contenido de humedad del agregado grueso y fino**

Se ha llevado a cabo de acuerdo con las normativas pertinentes: **NTP 339.185/ ASTM**

C-566/ MTC E566

- Se registró el peso de la muestra en estado natural.
- Se sometió a un secado en el horno a una temperatura de 110 ± 5 °C durante 24 horas.
- Finalmente se retiró la muestra del horno y se registró su peso.

Se hizo el cálculo con la siguiente formula:

$$P = \frac{W - D}{D} \times 100$$

Donde:

P = Contenido de Humedad de la muestra (%)

W = Peso de la muestra húmeda (g)

D = Peso de la muestra seca (g)

3.4.3.6. Materiales más finos que pasan por el tamiz N° 200 por lavado.

Se ha llevado a cabo de acuerdo con las normativas pertinentes: **NTP 400.018/ ASTM**

C-117/ MTC E202

- Se secó la muestra en el horno a temperatura constante de 110 ± 5 °C por un periodo de 24 horas.
- Luego se tomó un peso de la muestra sacada del horno (P_1).
- se colocó la muestra de ensayo en el recipiente y se adiciona agua hasta cubrirla, se agitó para separar las partículas y tener las partículas finas suspendidas.
- Se cogió la muestra y se realizó el tamizado para separar completamente todas las partículas más finas que la malla N° 200.
- Se adicionó una segunda carga de agua a la muestra en muestra en el recipiente, agitar decantar como antes. Se repitió esta operación hasta que el agua del lavado esté clara.
- Finalmente, el agregado lavado a peso constante se llevó a secar a una temperatura de $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ y determinar el peso (P_2).

Se calculó utilizando la siguiente formula:

$$A = \frac{P_1 - P_2}{P_1} \times 100$$

Donde:

A = Porcentaje del material más fino que pasa por el tamiz normalizado N° 200 (75 µm) por vías húmeda.

P_1 = Peso Seco de la muestra original (g)

P_2 = Peso Seco de la muestra ensayada (g)

3.4.3.7. Resistencia a la abrasión e impacto en la máquina de los Ángeles

Se ha llevado a cabo de acuerdo con las normativas pertinentes: **NTP 400.019/ ASTM C-131/ MTC E207**

- Se realizó su lavado, para posteriormente hacer su secado en el horno a una temperatura de 110 ± 5 °C durante 24 horas.
- Se procedió a pesar la muestra (W_o), luego se procedió a llevar la muestra a la máquina de los Ángeles, utilizando una carga abrasiva de 11 esferas, conjuntamente con el número de revoluciones de 500 y una velocidad de 30 a 33 rpm.
- Luego pasado un tiempo de 15 min se procedió a retirar de la máquina para pesarlo, tamizarlo por el tamiz N° 12 y lavarlo
- Finalmente, la muestra tamizada y lavada se llevó al horno durante 24 horas, para luego obtener su peso final (W_f)

Se calculó de la siguiente manera:

$$\% \text{ Abrasión} = \frac{W_o - W_f}{W_o} \times 100$$

Donde:

W_o = Peso Original de la muestra antes de ensayar (g)

W_f = Peso Final de la muestra después de ensayar (g)

3.4.4. Elaboración del diseño de mezclas del concreto $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$

Se realizó el diseño del concreto con el método del módulo de finura de la combinación de los agregados.

- Conocer las características de los materiales.
- Se calculó del tamaño máximo nominal TMN.
- Se determinó la resistencia promedio: f'_{cr} .
- Se calculó el asentamiento – Slump. En este caso se eligió entre 3”-4” ya que queremos una mezcla plástica
- Se calculó el contenido aire.
- Se calculó la relación agua / cemento (a/c) necesaria para ese diseño de mezcla
- Factor Cemento = agua / (a/c)
- Bolsas de cemento = Factor cemento / 42.5 kg
- Sumatoria de los volúmenes absolutos
- Volumen de agregados = 1 - volúmenes absolutos
- Se calculó Módulo de Fineza de la combinación de agregados
- Se calculó porcentaje de agregado fino
- Se calculó el porcentaje de agregado grueso
- Se calculó los pesos secos de los agregados
- Cantidad de materiales por m^3 de concreto
- Corrección por humedad de los agregados
- Se calculó la humedad superficial
- Agua efectiva= agua de diseño – aporte de humedad
- Cantidad de material por m^3 corregida por humedad.

3.4.4.1. Procedimiento para la realización de un diseño de mezcla de prueba

Para obtener el diseño final del concreto estándar o patrón, primero se consideró hacer un diseño de prueba con las siguientes consideraciones: $Ra/c=0.617$, para un $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$ y un $f'cr=252 \text{ kg/cm}^2$. Se realizaron 2 probetas cilíndricas para ser ensayadas a compresión a los 3 días de curado.

3.4.4.2. Procedimiento para hacer el reajuste entre la mezcla de prueba con el diseño del concreto patrón

Se realizaron pruebas a las 2 muestras de prueba a los 3 días de curado, obteniendo una resistencia promedio de 177 kg/cm^2 . Proyectando este valor a los 28 días, aplicando un factor de 1.5, se obtuvo una resistencia de 265.83 kg/cm^2 . Luego, se aplicó la ley de Powers para reajustar la relación agua/cemento, lo cual dio como resultado un valor de 0.68.

3.4.4.3. Diseño de mezclas de concreto sustituyendo el 5%,10%y 15% del peso del cemento Portland tipo I por ceniza de eucalipto

- Primero, se convirtió los volúmenes absolutos a pesos por metro cúbico, teniendo en cuenta los diferentes porcentajes de sustitución del cemento Portland tipo I por la ceniza de eucalipto.
- Luego, se calculó el aporte de humedad de los agregados para poder determinar el agua efectiva.
- A continuación, se realizó la corrección por humedad.
- Finalmente, se estableció la dosificación tanto en peso como en volumen.

3.4.5. Elaboración de probetas

Se realizaron 60 probetas en total con los diferentes porcentajes de sustitución, las cuales se detallan a continuación:

Tabla 11. Detalle de la elaboración de las probetas con los diferentes porcentajes de sustitución.

Tipo	N.º Probetas	Componentes		
		Cemento	Ceniza	Agregados y agua de acuerdo al diseño de mezclas.
Grupo I	15	100%P	0%P	
Grupo II	15	95%P	5%P	
Grupo III	15	90%P	10%P	
Grupo IV	15	85%P	15%P	

P: peso del cemento Portland tipo I obtenido del diseño de mezclas.

3.4.6. Ensayo de Slump

Una vez elaborado el concreto antes de llenar las probetas se realizó el ensayo con el cono de Abrams para determinar el slump tanto para el concreto solo con cemento Portland tipo I, así como también para el concreto al sustituir el cemento Portland tipo I por ceniza de eucalipto en un 5%, 10% y 15%.

3.4.7. Ensayo de peso unitario de las probetas

3.4.7.1. Peso unitario del concreto en estado fresco

Se ha llevado a cabo de acuerdo con la normativa pertinente: **NTP 339.046**

- Una vez preparada la mezcla de concreto con los diferentes porcentajes de sustitución, se determinó los pesos unitarios por cada grupo de probetas realizadas

Para ello se utilizó la siguiente formula:

$$P_U = (W_{m+r} - W_r) \times F$$

Donde:

P_U = Peso unitario del concreto en estado fresco (kg/m^3)

W_{m+r} = Peso de la muestra compactada más recipiente (kg)

W_r = Peso del recipiente (kg)

F = Factor del recipiente de medida ($1/\text{m}^3$)

3.4.7.2. Peso unitario del concreto en estado endurecido

Se midieron los diámetros de las probetas de cada grupo. Luego, se midieron las alturas de las probetas para calcular sus respectivos volúmenes. Finalmente, se pesó cada una de las probetas. Para luego utilizar la siguiente formula:

$$PU \text{ } ^\circ C \text{ Endurecido} = \frac{W}{V} * 1000$$

Donde:

$PU \text{ } ^\circ C \text{ Endurecido}$ = Peso unitario del concreto endurecido (kg/m³)

W = Peso del espécimen de concreto (g)

V = Volumen del espécimen de concreto (cm³)

3.4.8. Ensayos de resistencia a la compresión del concreto

Se ha llevado a cabo de acuerdo con las normativas pertinentes: NTP 339.034 y ASTM C 39.

Esto se determinó en laboratorio tanto para el concreto solo con cemento Portland tipo I, así como también para el concreto al sustituir el cemento Portland tipo I por ceniza de eucalipto en un 5%, 10% y 15%. Se utilizó la siguiente formula:

$$f'_c = \frac{P}{A} x 1000$$

Donde:

f'_c = resistencia en compresión del concreto (kg/cm²)

P = Carga máxima (Tn)

A = Área de la cara de la probeta cilíndrica (cm²)

3.4.9. Elaboración de gráficos

Se realizó con los datos de laboratorio con la ayuda del software Excel.

3.4.10. Determinación de la variación de la resistencia a compresión

Con los datos obtenidos en laboratorio del ensayo de resistencia a compresión, se determinó la variación de la resistencia a compresión de un concreto de $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$ al sustituir el cemento Portland tipo I por ceniza de eucalipto en un 5%, 10% y 15%.

3.5. Técnicas e instrumentos de recolección de datos y presentación de resultados

3.5.1. Técnicas

- a. Observación.** La técnica que se aplicó en la presente investigación fue la observación directa (cuantitativa y cualitativa) para determinar cuál de las muestras con diferentes proporciones de ceniza de eucalipto permite mayor variación de la resistencia a compresión de un Concreto de $f'c=210\text{kg/cm}^2$.
- b. Análisis estadístico:** Se emplearon métodos estadísticos para analizar los datos obtenidos de los ensayos y determinar la significancia de las diferencias entre las muestras con diferentes proporciones de ceniza de eucalipto, así como para obtener conclusiones sólidas y confiables.

3.5.2. Instrumentos

- Mezcladora de concreto.
- Moldes para probetas.
- Poza para el curado de concreto.
- Maquita de ensayo a compresión de concreto.
- Fichas, formatos las cuáles serán llenadas en laboratorio.

3.5.3. Presentación de los resultados

3.5.3.1. Resultados de las propiedades físicas y mecánicas de los agregados

a) Agregado grueso

Tabla 12. Propiedades físicas del agregado grueso de la catera “Aguilar”.

Propiedades	Valor	Unidad
Tamaño máximo nominal	3/4"	-
Peso unitario suelto	1390	kg/m ³
Peso unitario compactado	1510	kg/m ³
Peso específico de masa	2.610	g/cm ³
Peso específico saturado superficialmente seco	2.640	g/cm ³
Peso específico aparente	2.690	g/cm ³
Absorción	1.100	%
Contenido de humedad	0.436	%
Módulo de finura	6.830	-
Material más fino que pasa el Tamiz N° 200	0.200	-
Abrasión	29.00	%

b) Agregado fino

Tabla 13. Propiedades físicas del agregado fino de la catera “Aguilar”.

Propiedades	Valor	Unidad
Peso unitario suelto	1618	kg/m ³
Peso unitario compactado	1728	kg/m ³
Peso específico de masa	2.590	g/cm ³
Peso específico saturado superficialmente seco	2.630	g/cm ³
Peso específico aparente	2.690	g/cm ³
Absorción	1.400	%
Contenido de humedad	3.051	%
Módulo de finura	2.950	-
Material más fino que pasa el Tamiz N° 200	2.200	-

3.5.3.2. Resultados del diseño de mezclas

a) Resultados del diseño de mezcla del concreto de prueba

Tabla 14. Peso de los materiales para un metro cubico -concreto de prueba.

Material	Cantidad	Unidad
Cemento Portland Tipo I	332.150	kg/m ³
Agregado fino húmedo	862.537	kg/m ³
Agregado fino húmedo	904.014	kg/m ³
Agua efectiva	197.067	lt/m ³

Tabla 15. Proporción en peso – concreto de prueba

Cemento	Agregado fino	Agregado grueso	Agua efectiva
1	1.60	2.72	25.22(lt/bls)

Tabla 16. Proporción en volumen -concreto de prueba

Cemento	Agregado fino	Agregado grueso	Agua efectiva
1	1.34	2.33	25.22(lt/bls)

b) Resultados del diseño de mezcla del concreto patrón y los diferentes porcentajes de sustitución

Tabla 17. Peso de los materiales para un metro cubico

Materiales	Unidad	DISEÑO			
		Patrón	5% P.C.E.	10% P.C.E.	15% P.C.E.
Cemento Portland Tipo I	kg/m ³	301.470	286.397	271.323	256.25
Agregado fino húmedo	kg/m ³	899.635	899.635	899.635	899.635
Agregado grueso húmedo	kg/m ³	893.969	893.969	893.969	893.969
Ceniza de eucalipto	kg/m ³	-	15.074	30.147	45.221
Agua efectiva	lt/m ³	196.407	196.407	196.407	196.407

Tabla 18. Proporción en peso de los diferentes diseños de mezclas de concreto

Diseño del concreto	PROPORCIÓN EN PESO				
	Cemento	Agregado Fino	Agregado Grueso	Ceniza eucalipto	Agua Efectiva (lt/bls)
Patrón	1	2.95	2.97	-	27.69
Con 5% P.C.E.	0.95	2.98	2.97	0.05	29.15
Con 10% P.C.E.	0.90	2.98	2.97	0.10	30.77
Con 15% P.C.E.	0.85	2.98	2.97	0.15	32.57

Tabla 19. Proporción en volumen de los diferentes diseños de mezclas de concreto

Diseño del concreto	PROPORCIÓN EN VOLUMEN				
	Cemento	Agregado Fino	Agregado Grueso	Ceniza eucalipto	Agua Efectiva (lt/bls)
Patrón	1	2.69	3.19	-	27.69
Con 5% P.C.E.	0.95	2.69	3.19	0.05	29.15
Con 10% P.C.E.	0.90	2.69	3.19	0.10	30.77
Con 15% P.C.E.	0.85	2.69	3.19	0.15	32.57

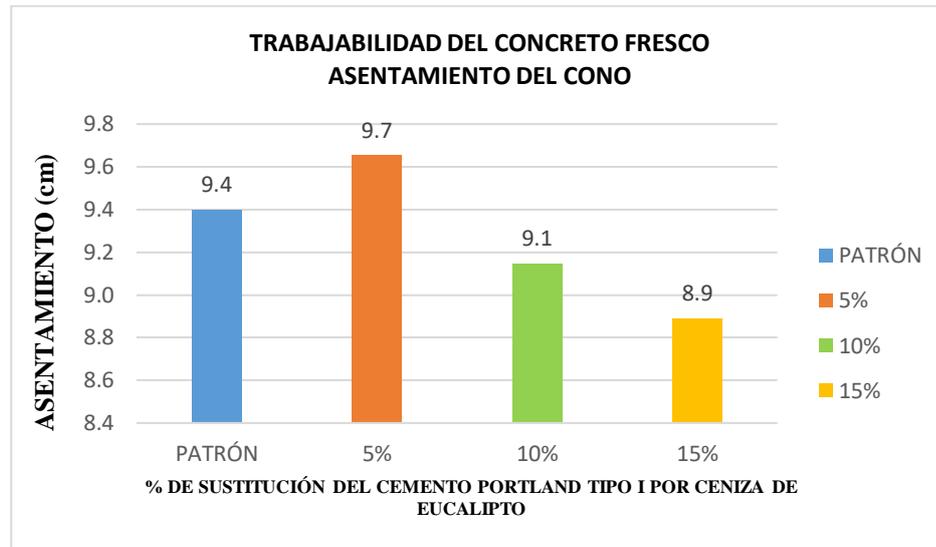
3.5.3.3. Resultados de las propiedades del concreto fresco

a) Asentamiento o Slump del concreto en estado fresco

Tabla 20. Trabajabilidad del concreto patrón y concreto en diferentes porcentajes de sustitución.

Tipo de concreto	Asentamiento		Variación del asent. con respecto a la muestra patrón
	Pulgadas	Centímetros	
Patrón	3.7	9.4	0.00%
5% P.C. E.	3.8	9.7	2.70%
10% P.C. E.	3.6	9.1	-2.70%
15% P.C. E.	3.5	8.9	-5.41%

Figura 3. Gráfica de la trabajabilidad del concreto fresco en diferentes porcentajes

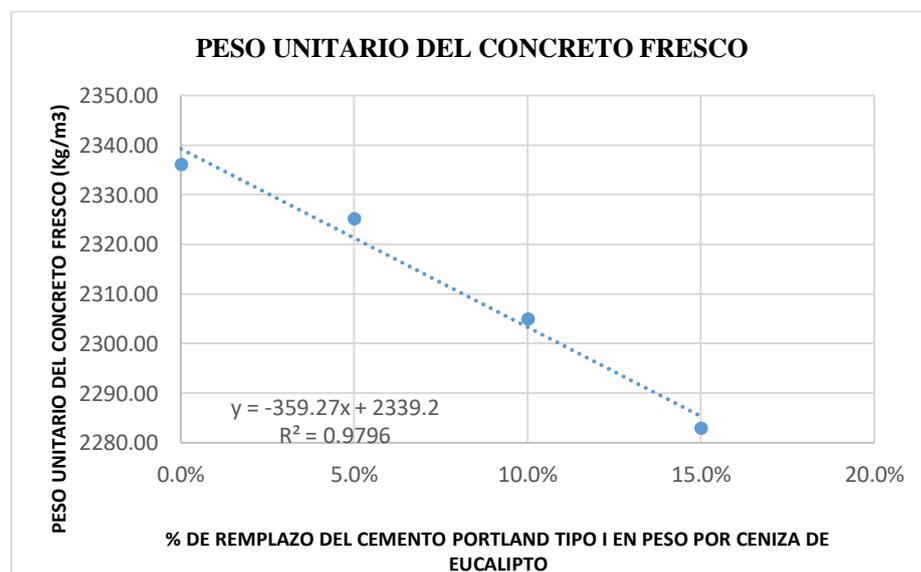


b) Peso unitario del concreto en estado fresco

Tabla 21. Peso unitario del concreto en estado fresco según el tipo de concreto.

Tipo de concreto	Peso unitario promedio (kg/m ³)	%Variación con respecto a muestra patrón
Patrón	2336.08	100.00%
5% P.C.E.	2325.17	99.53%
10% P.C.E.	2304.94	98.67%
15% P.C.E.	2282.94	97.73%

Figura 4. Relación del peso unitario de concreto en estado fresco vs el porcentaje de sustitución de la ceniza de eucalipto



3.5.3.4. Resultados de las propiedades del concreto en estado endurecido

a) Peso unitario del concreto en estado endurecido

Tabla 22. Peso unitario del concreto en estado endurecido según el tipo de concreto y las edades de curado.

Resultados del peso unitario del concreto endurecido (Kg/m3)						
Tipo de concreto	Edad (Días)					
	7		14		28	
	PU°CE (Kg/m3)	% PU respecto a °C Patrón	PU°CE (Kg/m3)	% PU respecto a °C Patrón	PU°CE (Kg/m3)	% PU respecto al °C Patrón
Patrón	2350.666	100.00%	2347.946	100.00%	2347.35	100.00%
5% P.C.E.	2345.28	99.77%	2346.98	99.96%	2342.07	99.78%
10% P.C.E.	2348.58	99.91%	2346.64	99.94%	2337.81	99.59%
15% P.C.E.	2347.68	99.873%	2340.32	99.68%	2336.78	99.55%

Figura 5. Peso unitario del concreto a las edades de 7, 14 y 28 días de curado

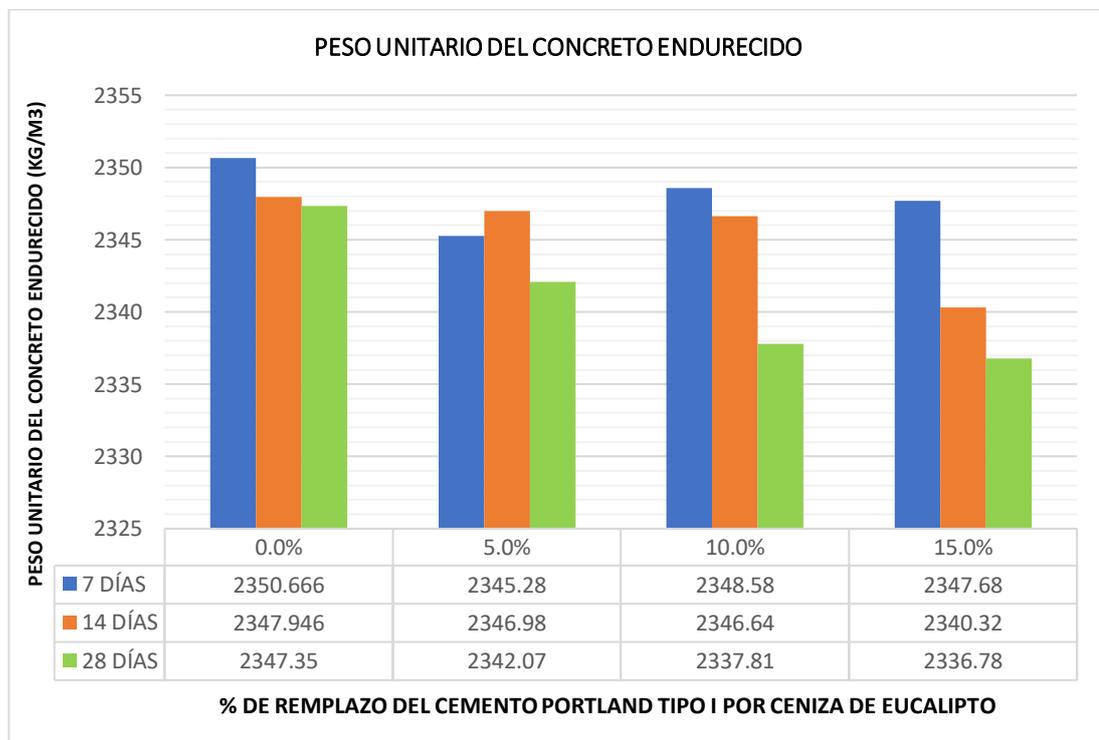
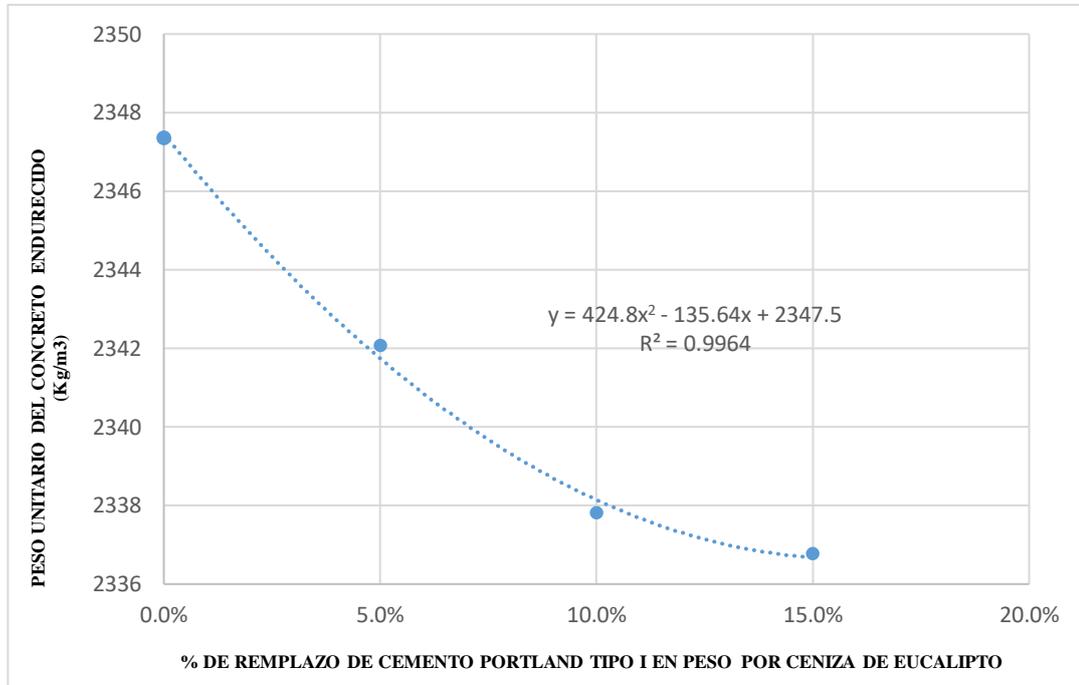


Figura 6. Peso unitario del concreto a los 28 días de curado vs el porcentaje de sustitución de la ceniza de eucalipto.



3.5.3.5. Resultados de resistencia a compresión

Tabla 23. Resultados de resistencia a compresión a los 7,14 y 28 días y según el tipo de concreto

Tipo de concreto	Resistencia a compresión f'_c (Kg/cm ²)					
	Edad (Días)					
	7		14		28	
	f'_c promedio (Kg/cm ²)	f'_c obtenido (%)	f'_c promedio (Kg/cm ²)	f'_c obtenido (%)	f'_c promedio (Kg/cm ²)	f'_c obtenido (%)
Patrón	213.76	100.00%	243.38	100.00%	259.08	100.00%
5% P.C.E.	193.16	90.36%	225.68	92.73%	246.94	95.31%
10% P.C.E.	181.51	84.91%	213.81	87.85%	232.31	89.67%
15% P.C.E.	171.82	80.38%	188.97	77.65%	208.15	80.34%

Figura 7. Resistencia a compresión vs edades de curado.

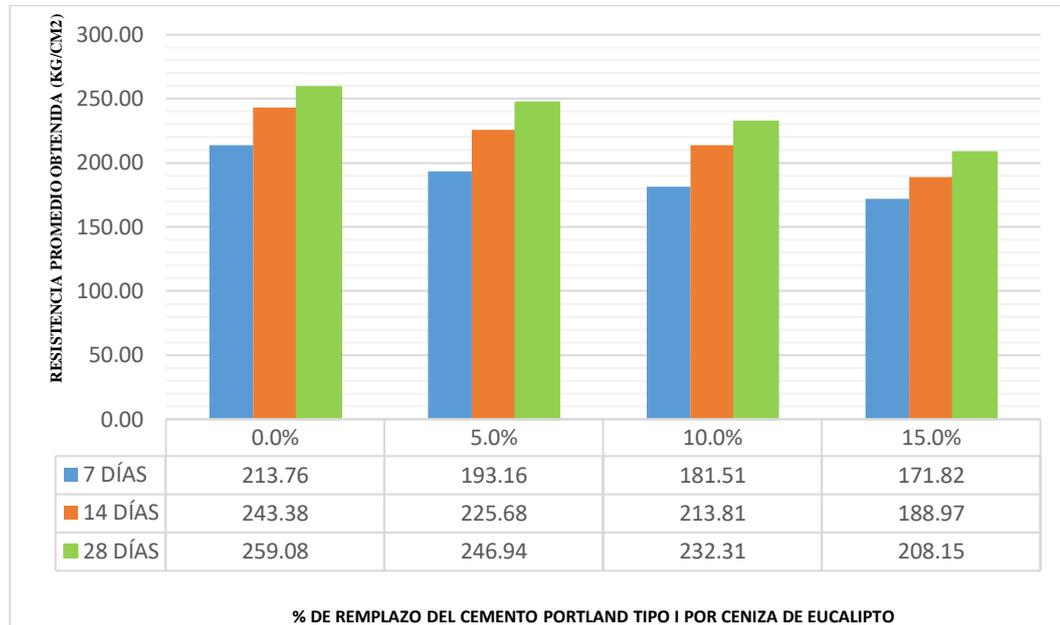
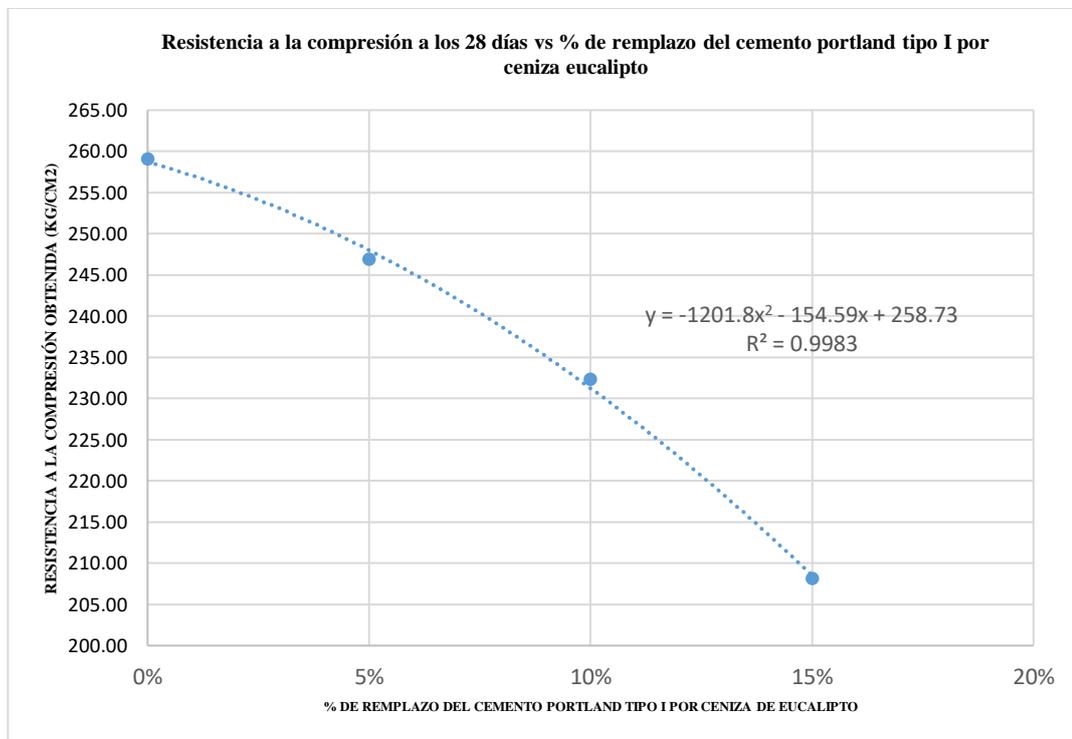


Figura 8. Resistencia a compresión a los 28 días vs el porcentaje de sustitución.



CAPÍTULO IV. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

- De la **Figura 9** se observa que la curva granulométrica del agregado grueso está dentro de los límites inferior y superior cumpliendo así con lo establecido en la normativa. Del agregado grueso se ha determinado que de TMN es de $\frac{3}{4}$ ".
- Según los resultados obtenidos, los valores del módulo de finura tanto del agregado fino como del grueso fueron apropiados para el diseño de la mezcla. El agregado fino presentó un módulo de finura de 2.95, valor que se encuentra dentro del intervalo óptimo establecido entre 2.30 y 3.10, como se observa en la **Tabla 13**. Por su parte, el agregado grueso mostró un módulo de finura de 6.832, según indica la **Tabla 12**. Estos parámetros confirmaron la idoneidad de ambos agregados para su uso en la mezcla
- De acuerdo a lo que muestra la **Tabla 13**, el agregado fino tiene un promedio de 2.20% de partículas que atraviesan el tamiz N°200, lo cual está dentro de la normativa que establece un límite máximo permitido de 5%.
- De acuerdo con los datos presentados en la **Tabla 12**, el agregado grueso muestra un contenido promedio de 0.20% de partículas que atraviesan el tamiz N°200. Este valor se encuentra dentro de las especificaciones requeridas, ya que está por debajo del límite máximo permitido del 1%.
- Los resultados de abrasión del agregado grueso, indicados en la **Tabla 12**, arrojan un valor de 29%. Este resultado es satisfactorio ya que está dentro de los límites establecidos por las normas NTP 400.019, ASTM C 131 y NTP 400.037, las cuales especifican que la pérdida por abrasión debe ser inferior al 50%. En consecuencia, el material analizado cumple con los requisitos normativos.
- De acuerdo a la **Tabla 20**, la trabajabilidad del concreto (asentamiento o Slump) de la muestra patrón es de 9.4 cm y para una sustitución del cemento Portland tipo I por 5%, 10%

y 15% de ceniza de eucalipto es de 9.7cm, 9.1 cm y 8.9cm respectivamente. Por lo tanto, vemos que para el porcentaje de 5% de sustitución el Slump aumenta en 2.7 % respecto a la muestra patrón. Y respecto a los otros porcentajes de sustitución el asentamiento disminuye.

- De acuerdo a la **Tabla 22**, el peso unitario del concreto endurecido a los 28 días de la muestra patrón es de 2347.35 kg/cm³ y para una sustitución del cemento Portland tipo I por 5%, 10% y 15% de ceniza de eucalipto es de 2342.07 kg/m³, 2337.81 kg/m³ y 2336.78 kg/m³ respectivamente. Por lo tanto, a mayor porcentaje de reemplazo del cemento Portland tipo I por ceniza de eucalipto, el peso unitario del concreto disminuye.
- De acuerdo a la **Tabla 21** y la **Tabla 22**, el peso unitario del concreto fresco fue inferior al peso unitario de concreto endurecido a los 28 días de edad, tanto para el diseño patrón como para los diseños con reemplazo de cemento Portland tipo I en peso por ceniza de eucalipto.
- De la **Tabla 23** la resistencia del concreto patrón obtenida a los 7 días; es de 213.76 kg/cm², a los 14 días; de 243.38 kg/cm² y para los 28 días la resistencia se obtuvo 259.08 kg/cm². Sus porcentajes de resistencia promedio fueron de 101.79 %, 115.89 % y 123.37 %, respecto a la resistencia 210 kg/cm² de diseño, respectivamente.
- La resistencia a la compresión obtenida para una sustitución de cemento Portland tipo I en peso por 5%, 10% y 15% de ceniza de eucalipto; es de 246.94 kg/cm², 232.31 kg/cm² y 208.15 kg/cm². Además, sus porcentajes de resistencia promedio fueron de 117.59%, 110.62 % y 99.12%, respecto a la resistencia de diseño referida.
- La resistencia a la compresión a los 7, 14 y 28 días, disminuye a medida que se aumenta el porcentaje de sustitución por ceniza de eucalipto (5 %, 10 % y 15 %).

CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

- La resistencia a compresión promedio a la edad de 28 días del concreto $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$ con sustitución del cemento Portland tipo I en peso por 5 %, 10 % y 15 % de ceniza de eucalipto, presenta una disminución de 4.69 %, 10.33 % y 19.66 % respecto a la resistencia obtenida por el concreto patrón. La resistencia promedio del concreto patrón es 259.08 kg/cm^2 , 246.94 kg/cm^2 , 232.31 kg/cm^2 y 208.15 kg/cm^2 , para cada porcentaje de reemplazo.
- La hipótesis respecto a la resistencia a compresión no es válida, puesto que al sustituir el cemento Portland tipo I por ceniza de eucalipto en 5%, varió en menos del 5% respecto al concreto patrón. En cambio, para los porcentajes de sustitución de 10% y 15%, sí varía en más del 5% en comparación con el concreto patrón.
- El asentamiento o Slump de la muestra patrón es de 9.4 cm y para una sustitución del cemento Portland tipo I por 5%, 10% y 15% de ceniza de eucalipto es de 9.7cm, 9.1 cm y 8.9cm, respectivamente. Por lo tanto, vemos que para el porcentaje de 5% de sustitución el Slump aumenta en 2.7 % respecto a la muestra patrón.
- El peso unitario del concreto fresco con sustitución de cemento Portland tipo I por ceniza de eucalipto; disminuyó en 0.47 %, 1.33 % y 2.27 % para los reemplazos de 5 %, 10 % y 15% respecto al concreto patrón. El peso unitario del concreto patrón es 2336.08 kg/m^3 y para concreto con sustitución de cemento Portland tipo I por ceniza de eucalipto es 2325.17 kg/m^3 , 2304.94 kg/m^3 y 2282.94 kg/m^3 , respectivamente.
- El peso unitario del concreto endurecido al sustituir el cemento Portland tipo I por 5%, 10% y 15% de ceniza de eucalipto varió; disminuyendo el peso en 0.22 %, 0.41 % y 0.45 % respecto al concreto patrón. Su valor en promedio es de 2347.35 kg/m^3 para el concreto patrón y de 2342.07 kg/m^3 , 2337.81 kg/m^3 y 2336.78 kg/m^3 , respectivamente.

5.2. Recomendaciones

- Se recomienda realizar una evaluación experimental de diseños de mezcla de concreto incorporando ceniza de eucalipto en porcentajes inferiores al 5%, con el objetivo de analizar y determinar su impacto en la resistencia a la compresión del concreto.
- En la presente investigación, el alcance se limitó a la evaluación de la resistencia a compresión y el peso unitario, tanto en su estado fresco como endurecido. Para futuras investigaciones, se recomienda ampliar el estudio mediante la evaluación de propiedades mecánicas adicionales, específicamente la resistencia a flexión y la resistencia a tracción. Esta expansión del análisis permitirá obtener una caracterización más completa y precisa del comportamiento estructural del concreto.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abanto, T. F. (2017). *Tecnología del concreto*. (Tercera, Ed.) Lima, Lima, Perú: San Marcos.
- Abbas, S., Arshad, U., Abbas, W., & Ahmed, A. (2020). Recycling untreated coal bottom ash with added value for mitigating alkali–silica reaction in concrete: A sustainable approach. *Sustainability (Switzerland)*, 1-24. doi:10.3390/su122410631
- Angaspilco, M., Bocanegra, J., Muñoz, S., Torres, L., & Villanueva, C. (2021). Uso de cenizas de carbón para mejorar la resistencia a la compresión del concreto. *Revista Ciencia Nor@ndina*, 47-60. doi:https://doi.org/10.37518/2663-6360X2021v4n2p47
- Angulo Zavaleta, V. (2019). *Influencia de la adición al 2%, 3% y 5% de ceniza volante en las propiedades físico-mecánicas del mortero de cemento en Cajamarca, 2019*. Cajamarca. Obtenido de <https://repositorio.upn.edu.pe/handle/11537/25359>
- Araujo Bravo, M., & Laza Ospina, M. (2020). *Análisis de los efectos de la ceniza de biomasa como sustituto parcial del cemento en la elaboración de concreto simple*. Córdoba. Obtenido de <https://repositorio.unicordoba.edu.co/entities/publication/bc3eb57b-dd73-49db-8738-a022ba082165>
- ASTM. (2016). *ASTM C143-78*. USA. Obtenido de <https://civilgeeks.com/2011/04/01/asentamiento-en-el-concreto-fresco-resumen-astm-c-143/>
- ASTM. (2018). *ASTM C33 - AGREGADOS*. USA. Obtenido de http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_2826_C.pdf
- ASTM C150. (2018). *ASTM C150 - CEMENTOS PORTLAND*. USA. Obtenido de <https://la.astm.org/es/standards/>
- Carsana, M., Gastaldi, M., & Lollini, F. (2016). Improving durability of reinforced concrete structures by recycling wet-ground MSWI bottom ash. *Materials and Corrosion*, 573-582. doi:10.1002/maco.201608881

- CEMEX. (2019). *Hablando de Cementos Portland*. Obtenido de CEMEX:
<https://www.cemex.com.pe/-/hablando-de-cementos-Portland>
- CEMIX. (2022). *¿Qué es la resistencia del concreto?* Obtenido de CEMIX:
<https://www.cemix.com/resistencia-del-concreto-que-es/>
- Cordero, G., Cárdenas, J., & Rojas, J. (2018). *Diseño de Mezclas de concreto aplicando el Método ACI*. Bogotá, Colombia: ECOE Ediciones.
- Correa Zeña, A., Hurtado Bravo, A., & Muñoz Pérez, S. (2023). *Revisión sistemática de las propiedades físico-mecánicas del hormigón con incorporación de Ceniza de Madera*. Cali, Colombia. Obtenido de
http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0123-30332023000200013
- Cruz Calapuja, N. (2020). *TECNOLOGIA DEL CONCRETO*. Puno. Obtenido de
<https://es.scribd.com/document/501242403/Libro-de-Tecnologia-Del-Concreto-2020>
- Cruzado, M., & Olivera, R. (2022). Evaluación de las cenizas de hoja y de madera del eucalipto en el concreto $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$, Patate-La Libertad 2022. (*Tesis de Grado*). Universidad César Vallejo, Lima, Perú.
- Cueto Baldeon, D. (2023). *Influencia de la adición de ceniza de carbón de madera reciclada en la resistencia a la compresión y tracción por compresión diametral del concreto $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$, Lima 2023*. Lima. Obtenido de
<https://repositorio.upn.edu.pe/handle/11537/35095>
- Ferreira Nogueira, G., Franco do Couto, Á., Barreto Sandoval, G., & Schwantes-Cezario, N. (2019). *Estudio inicial de Ceniza de Madera de Eucalipto (CME) como aditivo mineral en concreto*. Bogotá. Obtenido de
<https://revistas.unal.edu.co/index.php/dyna/article/view/74580/70359>

- Gamero Valencia, D. (2021). *Caracterización de los tipos de ceniza utilizados en concreto, mortero y adobe, Cajamarca 2020*. Cajamarca. Obtenido de <https://hdl.handle.net/11537/30815>
- Hernández, R. (2017). *Metodología de la Investigación* (Sexta ed.). Obtenido de <https://www.uca.ac.cr/wp-content/uploads/2017/10/Investigacion.pdf>
- Institute American Concrete, A. (2022). *Fundamentos del concreto*. Farmington Hills - USA. Obtenido de [https://www.concrete.org/Portals/0/Files/PDF/Previews/CCS-0S\(16\)_preview.pdf](https://www.concrete.org/Portals/0/Files/PDF/Previews/CCS-0S(16)_preview.pdf)
- Matallana Rodríguez, R. (2019). *El concreto fundamentos u nuevas tecnologías*. Corona .
- Mejia Brioso, C. (2022). *Incorporación de las cenizas de eucalipto para mejorar las propiedades físicas mecánicas del concreto $f'c^{\circ} = 210 \text{ kg/cm}^2$ en VMT, Lima 2022*. Lima, Perú. Obtenido de https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/96974/Mejia_BCH-SD.pdf?sequence=4&isAllowed=y
- Ñahui De La Cruz , J. (2023). *Utilización de la ceniza de madera de eucalipto como reemplazo del cemento para el concreto $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$* . Huancayo - Perú. Obtenido de <https://repositorio.upla.edu.pe/handle/20.500.12848/6153>
- Osorio Palma, M. (2022). *Influencia de cenizas de carbón de madera de eucalipto en la resistencia de concreto estructural $f'c 210 \text{ Kg/cm}^2$ en Pasco 2021*. Cerro de Pasco. Obtenido de http://repositorio.undac.edu.pe/bitstream/undac/2647/1/T026_72071876_T.pdf
- Portugal, P. (2017). *Tecnología del concreto de alto desempeño*.
- Ramírez, M. (2021). *Tecnología del concreto* (4 ed.). Mexico: Limusa. Obtenido de https://limusa.com.mx/?s=tecnologia+del+concreto&post_type=product&dgwt_wcas=1

Rivva, E. (2019). *Diseño de mezclas*. Lima, Perú: (Cuarta ed.).

SIKA. (2023). *Aditivos para el concreto*. Colombia. Obtenido de <https://col.sika.com/content/dam/dms/co01/7/BROCHURE%20ADITIVOS%20PARA%20CONCRETO.pdf>

Silva Reyes, P. (2018). *Resistencia de mortero $f'c=210$ kg/cm² sustituyendo al cemento en 15% por ceniza de material no maderable de *Schimus Molle L.* Cajamarca. Obtenido de <https://repositorio.usanpedro.edu.pe/items/ae95e547-6965-44ba-97e9-4a29d37b7028>*

ANEXOS

ANEXO 01: PROPIEDADES FÍSICAS DE LOS AGREGADOS DE LA CANTERA “AGUILAR”

1. AGREGADO GRUESO

1.1. Peso unitario suelto y compactado del agregado

Tabla 24. Peso específico del agua para el agregado grueso.

Descripción	Peso	Unidades
Peso de la fiola	192.00	g
Peso de la fiola +agua	690.40	g
Volumen de la fiola	500.00	cm ³
Peso especifico	0.997	g/cm ³
P.e en (Kg/m ³)	996.80	kg/cm ³

Tabla 25. Factor de calibración (f) del molde para el agregado grueso.

Descripción	Peso	Unidad
Peso del Molde	7136.00	g
Peso del Molde +Agua	14150.00	g
Peso Agua (Kg)	7.01	kg
f (1/m ³)	142.12	1/m ³

Tabla 26. Peso unitario suelto del agregado grueso.

Descripción	Und.	M-1	M-2	M-3	Promedio
Peso del recipiente	g	7136.00	7136.00	7136.00	
Peso de muestra suelta + recipiente	g	16920.00	16925.00	16912.00	
Peso de la muestra suelta	g	9784.00	9789.00	9776.00	
Factor (f)	1/m ³	142.12	142.12	142.12	
Peso unitario suelto	g/cm ³	1.390	1.391	1.389	1.390
Peso unitario suelto	kg/m³	1390	1391	1389	1390

Tabla 27. Peso unitario compactado del agregado grueso.

Descripción	Und.	M-1	M-2	M-3	Promedio
Peso del recipiente	g	7136.00	7136.00	7136.00	
Peso de muestra compactada + recipiente	g	17740.00	17752.00	17790.00	
Peso de la muestra suelta	g	10604.00	10616.00	10654.00	
Factor (f)	1/m ³	142.12	142.12	142.12	
Peso unitario compactado	g/cm ³	1.507	1.509	1.514	1.510
Peso unitario compactado	kg/m³	1507	1509	1514	1510

1.2. Contenido de humedad

Tabla 28. Contenido de humedad del agregado grueso.

Descripción	Und.	M-1	M-2	M-3	Promedio
Peso del recipiente	g	92.00	131.00	129.00	
Peso del recipiente + muestra húmeda	g	1383.00	1355.00	1658.00	
Peso del recipiente + muestra seca	g	1377.00	1350.00	1651.00	
Contenido de humedad	W %	0.47	0.41	0.46	0.446

1.3. Peso específico y absorción

Tabla 29. Peso específico del agregado grueso.

Descripción	Und.	M-1	M-2	M-3	Promedio
Peso de muestra SSS + canastilla sumergida	g	4131.00	4118.00	4113.00	
Peso de canastilla sumergida	g	2258.00	2258.00	2258.00	
Peso de la muestra superficialmente seca	g	3000.00	3000.00	3000.00	
Peso de la muestra secada al horno	g	2966.00	2667.00	2968.00	
Peso de la muestra sumergida en el agua	g	1873.00	1860.00	1855.00	
Peso específico de masa	g/cm³	2.632	2.603	2.592	2.610
Peso específico de masa saturado superficialmente seco	g/cm³	2.662	2.632	2.620	2.640
Peso específico aparente	g/cm³	2.714	2.680	2.667	2.690

Tabla 30. Absorción del agregado grueso.

Descripción	Und.	M-1	M-2	M-3	Promedio
Peso de la muestra superficialmente seca	g	3000.00	3000.00	3000.00	
Peso de la muestra secada al horno	g	2966.00	2967.00	2968.00	
Absorción (%)	%	1.146	1.112	1.078	1.100

1.4. Material más fino que pasa por el tamiz N° 200

Tabla 31. Material más fino que pasa el tamiz N° 200 del agregado grueso.

Descripción	Und.	M-1	M-2	M-3	Promedio
Peso de Muestra Original	g	3000.00	3000.00	3000.00	
Peso de la muestra Lavada	g	2995.00	2991.00	2992.00	
Peso del Material que pasa el Tamiz N° 200	g	5.00	9.00	8.00	
% de Material que Pasa el Tamiz N° 200	%	0.167%	0.300%	0.267%	0.20%

1.5. Resistencia a la abrasión

Tabla 32. Resistencia a la abrasión del agregado grueso.

Gradación	Equipo Mecánico	N° de Esferas	Velocidad (rev. /min)	N° de Revoluciones	Tamaño Máx. Nominal	Peso de la Muestra en (g.)
B	Máquina de los Ángeles	11	30 - 33	500.00	3/4"	5000.00
				1°	2°	3°
Peso Inicial de la muestra seca al horno (g.)				5000	5000	5000
Peso retenido en la malla N° 12 Lavado y secado al horno en (g)				3518	3530	3540
% Desg. = ((Pi - Pf) / Pi) x 100				29.64	29.40	29.20
Abrasión % Desgaste Promedio					29.00	

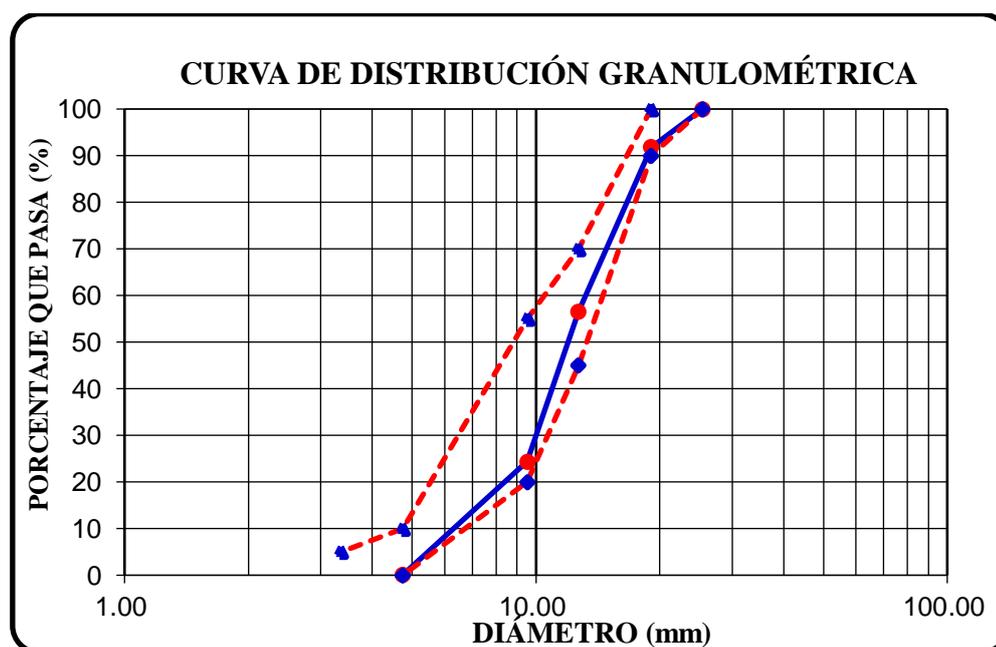
1.6. Análisis granulométrico

Tabla 33. Módulo de finura del agregado grueso.

Tamiz	Peso	Porcentaje	Porcentaje	Porcentaje
N°	Abertura (mm)	Retenido Parcial	Retenido Parcial	Retenido Acumulado
1"	25.40	0.00	0.00	0.00
3/4"	19.05	615.00	8.20	8.20
1/2"	12.70	2645.00	35.27	43.47
3/8"	9.53	2410.00	32.13	75.60
N°4	4.75	1822.00	24.29	99.89
Cazoleta	--	8	0.11	100.00
TOTAL		7500.00		

Módulo de finura = 6.832

Figura 9. Curva de distribución granulométrica del agregado grueso



2. AGREGADO FINO

2.1. Peso unitario suelto y compactado del agregado fino

Tabla 34. Peso específico del agua para el agregado fino.

Descripción	Peso	unidades
Peso de la fiola	192.00	g
Peso de la fiola +agua	690.40	g
Volumen de la fiola	500.00	cm ³
Peso específico	0.997	g/cm ³
P.e en (Kg/m ³)	996.80	kg/cm ³

Tabla 35. Peso unitario compactado del agregado fino.

Descripción	Und.	M-1	M-2	M-3	Promedio
Peso del recipiente	g	3869.00	3869.00	3869.00	
Peso de muestra compactada + recipiente	g	9040.00	9025.00	9098.00	
Peso de la muestra suelta	g	5171.00	5156.00	5229.00	
Factor (f)	l/m ³	333.27	333.27	333.27	
Peso unitario compactado	g/cm ³	1.723	1.718	1.743	1.728
Peso unitario compactado	kg/m³	1723	1718	1743	1728

2.2. Contenido de humedad agregado fino

Tabla 36. Contenido de humedad del agregado fino.

Descripción	Und.	M-1	M-2	M-3	Promedio
Peso del recipiente	g	54.00	124.00	57.00	
Peso del recipiente + muestra húmeda	g	1338.00	1608.00	1276.00	
Peso del recipiente + muestra seca	g	1301.00	1564.00	1239.00	
Contenido de humedad	W %	2.97	2.3.06	3.13	3.05

2.3. Peso específico y absorción del agregado fino

Tabla 37. Peso específico del agregado fino.

Descripción	Und.	M-1	M-2	M-3	Promedio
Peso de fiola	g	192.00	192.00	192.00	
Peso de la fiola + agua hasta menisco	g	690.40	690.4	690.4	
peso de la fiola + agua + muestra	g	1001.3	1001.7	1001.9	
Peso de la muestra superficialmente seca	g	500.00	500.00	500.00	
Peso de la muestra secada al horno	g	492.80	493.40	492.70	
Volumen de agua añadida al frasco (g)	g	309.30	309.70	309.90	
Peso específico de masa	g/m3	2.584	2.593	2.592	2.590
Peso específico de masa saturado superficialmente seco	g/m3	2.622	2.627	2.630	2.630
Peso específico aparente	g/m3	2.686	2.686	2.695	2.690

Tabla 38. Absorción del agregado fino.

Descripción	Und.	M-1	M-2	M-3	Promedio
Peso de la muestra superficialmente seca	g	500.00	500.00	500.00	
Peso de la muestra secada al horno	g	492.80	493.40	492.70	
Absorción (%)	%	1.461	1.338	1.482	1.400

2.4. Material más fino que pasa el tamiz N°200 del agregado fino

Tabla 39. Material más fino que pasa el tamiz N° 200 del agregado fino.

Descripción	Und.	M-1	M-2	M-3	Promedio
Peso de Muestra Original	g	500.00	500.00	500.00	
Peso de la muestra Lavada	g	489.30	486.70	489.30	
Peso del Material que pasa el Tamiz N° 200	g	10.70	10.30	11.70	
% de Material que Pasa el Tamiz N° 200	%	2.140%	2.060%	2.340%	2.20%

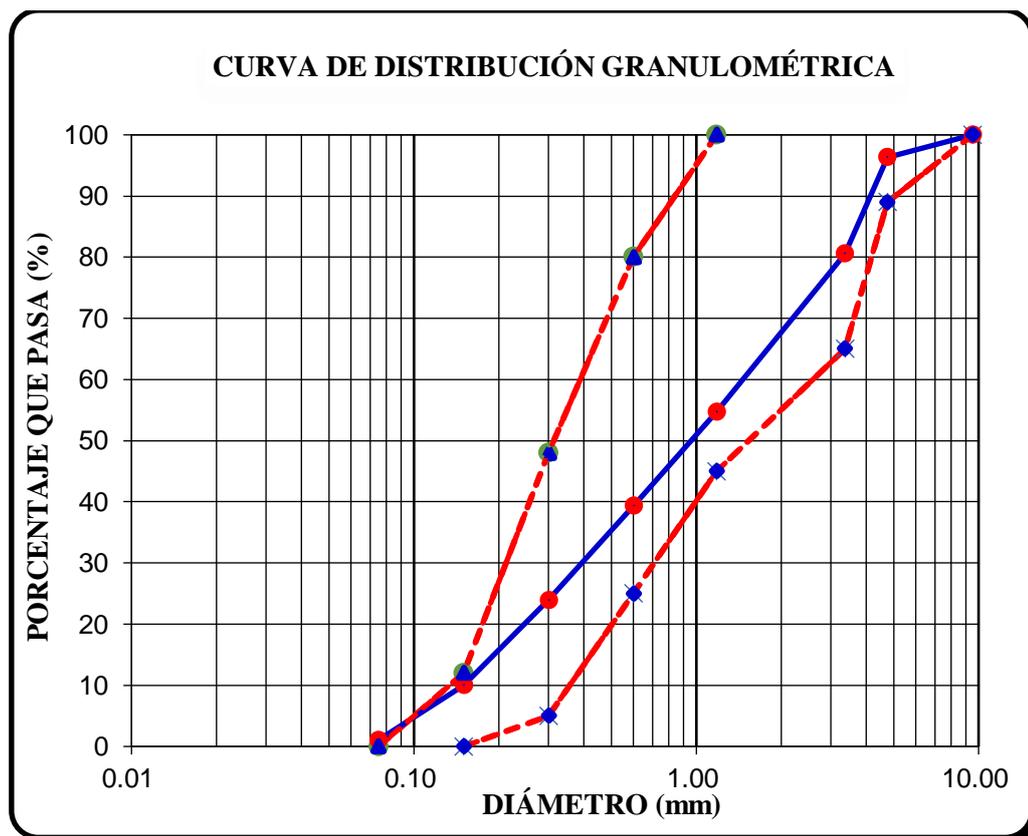
2.5. Análisis granulométrico

Tabla 40. Módulo de finura del agregado fino.

Tamiz	Peso	Porcentaje	Porcentaje	Porcentaje
N°	Abertura (mm)	Retenido Parcial	Retenido Parcial	Retenido Acumulado
3/8"	9.53	0.00	0.00	0.00
N°4	4.75	55.00	3.67	3.67
N°8	3.36	236.00	15.73	19.40
N 16	1.18	389.00	25.93	45.33
N 30	0.60	230.00	15.33	60.67
N 50	0.30	231.00	15.40	76.07
N 100	0.15	209.00	13.93	90.00
N 200	0.075	134	8.93	98.93
Cazoleta	--	16	1.07	100.00
TOTAL		1500.0		

Módulo de finura = 2.95

Figura 10. Curva de distribución granulométrica del agregado fino



3. CENIZA DE EUCALIPTO

3.1. Peso específico de la ceniza de eucalipto

Tabla 41. Peso específico de la ceniza eucalipto

Descripción	Und.	M-1	M-2	M-3	Promedio
Peso de fiola	g	192.00	192.00	192.00	
Peso de la fiola + agua hasta menisco	g	689.00	689.00	689.00	
peso de la fiola + agua + ceniza	g	717.00	719.00	718.00	
Peso de la muestra superficialmente seca	g	50.00	50.00	50.00	
Volumen de líquido desplazado	cm3	22.13	20.12	21.13	21.13
Peso específico de masa de la ceniza de eucalipto	g/cm3	2.26	2.49	2.37	2.37

ANEXO 02: DISEÑO DE MEZCLAS DE CONCRETO

1. Diseño de mezcla de concreto de prueba

DISEÑO DE MEZCLA DEL CONCRETO DE PRUEBA (TABLA ACI)

D) MATERIALES

1. Cemento:

Portland Pacasmayo TIPO I (A.S.T.M. C-150)

- Peso específico= 3.11 g/cm³

2. Agua:

Agua potable

3. Agregados:

Descripción	Agregado fino		Agregado grueso	
- Peso unitario suelto seco:	1618	kg/m ³	1390	kg/m ³
- Peso unitario compactado seco:	1728	kg/m ³	1510	kg/m ³
- Peso específico de masa:	2.590	g/cm ³	2.610	g/cm ³
- Peso específico sss:	2.630	g/cm ³	2.640	g/cm ³
- Peso específico aparente:	2.690	g/cm ³	2.690	g/cm ³
- Humedad:	3.051%		0.446%	
- Absorción:	1.400%		1.100%	
- Módulo de finura:	2.95		6.83	
- Abrasión:			29.00%	
- % que pasa malla N° 200	2.200		0.200	

II) PROCEDIMIENTO DEL DISEÑO

1. Selección de la resistencia en compresión requerida

- Resistencia a la compresión especificada del concreto (f'c) = 210 kg/cm²

- Resistencia a la compresión requerida del concreto (f'cr)=1.2*f'c = 252 kg/cm²

2. Selección del tamaño máximo nominal del agregado grueso

TMN = 3/4"

3. Selección del asentamiento

3" - 4"

4. Selección de volumen unitario de agua

Para un asentamiento de 3" a 4" y un TMN 3/4" = 205 l/m³

5. Selección del contenido de aire

Para un tamaño máximo nominal de 3/4" = 2.00%

6. Selección de la relación agua - cemento

Por resistencia (a/c) = 0.617

7. Determinación del contenido de cemento y factor cemento

205/0.6172 = 332.150 kg

Factor cemento = 7.82 bls/m³

8. Determinación del volumen absoluto de la pasta

Cemento 332.15/(3.11x1000) = 0.107 m³

Agua 205/1000 = 0.205 m³

Aire 2.00% = 0.020 m³

Volumen absoluto de la pasta = 0.332 m³

9. Determinación del volumen absoluto de los agregados

Volumen absoluto de los agregados 1-0.332 = 0.668 m³

10. Determinación de vacíos	% vacíos	=	(2610-1510)/2610	=	42.15%
	% vacíos por corregir	=	42.15%-35.00%	=	7.15%
11. Determinación del módulo de finura de la combinación de agregados	Para un contenido de cemento de 7.82bls/m ³ y un tamaño máximo nominal de 3/4"				
	mc	=	5.0970		
	factor corrección	=	0.143		
	mc corregido	=	4.954		
12. Determinación del porcentaje de los agregados en relación al volumen absoluto	$rr=(6.832-4.954)/(6.832-2.95)$	=	0.48		
	% agregado fino	=	48.38%		
	% agregado grueso	=	51.62%		
13. Determinación de los volúmenes absolutos de los agregados	Agregado fino	=	0.323 m ³		
	Agregado grueso	=	0.345 m ³		
14. Determinación de los pesos secos de los agregados	Agregado fino	=	837.00 kg/m ³		
	Agregado grueso	=	900.00 kg/m ³		
15. Valores de diseño	Cemento	=	332.150 kg/m ³		
	Agua de diseño	=	205 lt/m ³		
	Agregado fino seco	=	837.00 kg/m ³		
	Agregado grueso seco	=	900.00 kg/m ³		
15. Corrección por humedad de los agregados	Peso húmedo del agregado fino	=	862.5369 kg/m ³		
	Peso húmedo del agregado grueso	=	904.014 kg/m ³		
16. Determinación de la humedad superficial de los agregados	Agregado fino	=	1.65%		
	Agregado grueso	=	-0.65%		
17. Aporte de humedad de los agregados	Agregado fino	=	13.81887 lt		
	Agregado grueso	=	-5.886 lt		
	Aporte total	=	7.933 lt		
18. Agua efectiva de mezclado	Agua efectiva	=	197.0671 lt		
19. Materiales corregidos por humedad	Cemento	=	332.150 kg		
	Agua efectiva	=	197.067 lt		
	Agregado fino húmedo	=	862.537 kg		
	Agregado grueso húmedo	=	904.014 kg		
	Aire total	=	2.00%		

II) DOSIFICACIÓN EN PESO

Cemento	=	1	
Agregado fino	=	2.60	
Agregado grueso	=	2.72	
Agua	=	25.22	lt/bls

III) CONVERSIÓN DE DOSIFICACIÓN EN PESO A VOLUMEN

1. Materiales

	Agregado fino	Agregado grueso
- Peso unitario suelto seco:	1618 kg/m ³	1390 kg/m ³
- Humedad:	3.051%	0.446%

2. Cálculo de la cantidad de materiales por tanda

Cemento	=	42.50 kg/bls
Agua efectiva	=	25.22 kg/bls
Agregado fino húmedo	=	110.365 kg/bls
Agregado grueso húmedo	=	115.672 kg/bls

3. Determinación de los pesos unitarios húmedos de los agregados

Agregado fino	=	1667.365 kg/m ³
Agregado grueso	=	1396.199 kg/m ³

4. Convertimos el peso unitario de los materiales a kg/pie³

Agregado fino	=	47.214 kg/pie ³
Agregado grueso	=	39.536 kg/pie ³
Bolsa de cemento	=	42.50 kg/pie ³

DOSIFICACIÓN EN VOLUMEN

Cemento	=	1
Agregado fino	=	2.34
Agregado grueso	=	2.93
Agua	=	25.22 lt/bls

IV) PROPORCIÓN POR TANDA 0.020 m³

TANDA	=	0.02 m ³
Cemento	=	6643.0 g
Agua efectiva	=	3941.3 g
Agregado fino húmedo	=	17250.7 g
Agregado grueso húmedo	=	18080.3 g

V) RESULTADOS ENSAYO A COMPRESIÓN

Se realizó la elaboración de 2 probetas de 6" x 12" las cuales se ensayaron a los 3 días

RESULTADOS DE ENSAYO A COMPRESIÓN A LOS 3 DÍAS								
MUESTRA	Ø SUP. (cm)	Ø INF. (cm)	Ø PROM. (cm)	ÁREA (m ²)	ALTURA (cm)	CARGA ÚLTIMA (TN)	f'c (Kg/cm ²)	f'c promedio
M1	15.30	15.08	15.1875	181.160	30.30	31.5	173.87938	177.22
M2	15.13	15.15	15.14	179.993	30.30	32.5	180.5626	

Como se obtiene una resistencia a la compresión de 177.22 kg/cm² a los 3 días

Lo proyectamos a los 28 días multiplicando por un factor de 1.5

Se obtiene un f'c de 265.83 kg/cm² a los 28 días, para realizar el reajuste aplicamos la Ley de Powers.

V) CORRECCIÓN POR RESISTENCIA

$$R = 2380 X^3 \quad ; \quad R = 265.83 \text{ kg/cm}^2$$

$$X = 0.48158892$$

$$X = \frac{0.647 \alpha}{0.319\alpha + a/c} \quad a/c = 0.617$$

$$0.4933731 * \alpha = \frac{0.297236681}{0.602}$$

Conociendo el grado de hidratación del concreto y la resistencia a la compresión reajustamos la relación a/c

$$R = 2380 X^3 \quad ; \quad R = 210 \text{ kg/cm}^2$$

$$X = 0.445192097$$

Reemplazamos en ec.: $X = \frac{0.647 \alpha}{0.319\alpha + a/c} \quad ; \quad \alpha = 0.602$

$$0.445 = \frac{0.390}{0.192 + a/c}$$

$$0.445 * a/c = 0.304231574$$

a/c = 0.680

2. Diseño de mezclas de concreto – patrón

DISEÑO DE MEZCLA DEL CONCRETO-PATRÓN

I) MATERIALES

1. Cemento:

Portland Pacasmayo TIPO I (A.S.T.M. C-150)

- Peso específico = 3.11 g/cm³

2. Agua:

Agua potable

3. Agregados:

Descripción	Agregado fino		Agregado grueso	
- Peso unitario suelto seco:	1618.000	kg/m ³	1390.000	kg/m ³
- Peso unitario compactado seco:	1728.000	kg/m ³	1510.000	kg/m ³
- Peso específico de masa:	2.590	g/cm ³	2.610	g/cm ³
- Peso específico sss:	2.630	g/cm ³	2.640	g/cm ³
- Peso específico aparente:	2.690	g/cm ³	2.690	g/cm ³
- Humedad:	3.051%		0.446%	
- Absorción:	1.40%		1.10%	
- Módulo de finura:	2.95		6.83	
- Abrasión:			29.00%	
- % que pasa malla N° 200	2.200		0.200	

II) PROCEDIMIENTO DEL DISEÑO

1. Selección de la resistencia en compresión requerida

- Resistencia a la compresión especificada del concreto (f_c) = 210 kg/cm²

- Resistencia a la compresión requerida del concreto (f'_{cr})=1.2*f_c = 252 kg/cm²

2. Selección del tamaño máximo nominal del agregado grueso

TMN = 3/4"

3. Selección del asentamiento

3" - 4"

4. Selección de volumen unitario de agua

Para un asentamiento de 3" a 4" y un TMN 3/4" 205 l/m³

5. Selección del contenido de aire

Para un tamaño máximo nominal de 3/4" 2.00%

6. Selección de la relación agua - cemento

Ley de Powers (a/c) = 0.680

7. Determinación del contenido de cemento y factor cemento

205/0.68 = 301.470 kg

Factor cemento = 7.09 bls/m³

8. Determinación del volumen absoluto de la pasta

Cemento 301.47/(3.11x1000) = 0.097 m³

Agua 205/1000 = 0.205 m³

Aire 2.00% = 0.020 m³

Volumen absoluto de la pasta = 0.322 m³

9. Determinación del volumen absoluto de los agregados

Volumen absoluto de los agregados 1-0.322 = 0.678 m³

10. Determinación de vacíos			
% vacíos	=	$(2610-1510)/2610$	= 42.15%
% vacíos por corregir	=	$42.15\%-35.00\%$	= 7.15%
11. Determinación del módulo de finura de la combinación de agregados			
Para un contenido de cemento de 7.09 bls/m ³ y un tamaño máximo nominal de 3/4"			
		mc	= 5.046
		factor corrección	= 0.143
		mc corregido	= 4.903
12. Determinación del porcentaje de los agregados en relación al volumen absoluto			
		$rr=(6.832-4.903)/(4.903-2.95)$	= 0.50
		% agregado fino	= 49.69%
		% agregado grueso	= 50.31%
13. Determinación de los volúmenes absolutos de los agregados			
		Agregado fino	= 0.337 m ³
		Agregado grueso	= 0.341 m ³
14. Determinación de los pesos secos de los agregados			
		Agregado fino	= 873.00 kg/m ³
		Agregado grueso	= 890.00 kg/m ³
15. Valores de diseño			
		Cemento	= 301.47 kg/m ³
		Agua de diseño	= 205.00 lt/m ³
		Agregado fino seco	= 873.00 kg/m ³
		Agregado grueso seco	= 890.00 kg/m ³
16. Corrección por humedad de los agregados			
		Peso húmedo del agregado fino	= 899.635 kg/m ³
		Peso húmedo del agregado grueso	= 893.969 kg/m ³
17. Determinación de la humedad superficial de los agregados			
		Agregado fino	= 1.65%
		Agregado grueso	= -0.65%
18. Aporte de humedad de los agregados			
		Agregado fino	= 14.413 lt
		Agregado grueso	= -5.821 lt
		Aporte total	= 8.593 lt
19. Agua efectiva de mezclado			
		Agua efectiva	= 196.407 lt
20. Materiales corregidos por humedad			
		Cemento	= 301.470 kg
		Agua efectiva	= 196.407 lt
		Agregado fino húmedo	= 899.635 kg
		Agregado grueso húmedo	= 893.969 kg
		Aire total	= 2.00%

III) DOSIFICACIÓN EN PESO

Cemento	=	1
Agregado fino	=	2.98
Agregado grueso	=	2.97
Agua	=	27.69 lt/bls

IV) CONVERSIÓN DE DOSIFICACIÓN EN PESO A VOLUMEN

1. Materiales

	Agregado fino	Agregado grueso
- Peso unitario suelto seco:	1618 kg/m ³	1390 kg/m ³
- Humedad:	3.051%	0.446%

2. Determinación de la cantidad de materiales por tanda		
Cemento	=	42.500 kg/bls
Agua efectiva	=	27.689 kg/bls
Agregado fino húmedo	=	126.827 kg/bls
Agregado grueso húmedo	=	126.028 kg/bls
3. Determinación de los pesos unitarios húmedos de los agregados		
Peso unitario húmedo del agregado fino	=	1667.365 kg/m ³
Peso unitario húmedo del agregado grueso	=	1396.199 kg/m ³
4. Convertimos el peso unitario de los materiales a kg/pie³		
Peso unitario húmedo del agregado fino	=	47.214 kg/pie ³
Peso unitario húmedo del agregado grueso	=	39.536 kg/pie ³
Bolsa de cemento	=	42.500 kg/pie ³

DOSIFICACIÓN EN VOLUMEN

Cemento	=	1
Agregado fino	=	2.69
Agregado grueso	=	3.19
Agua	=	27.69 lt/bls

V) PROPORCIÓN POR TANDA 0.020 m³

TANDA		0.02 m ³
Cemento	=	6029.40 g
Agua efectiva	=	3928.15 g
Agregado fino húmedo	=	17992.70 g
Agregado grueso húmedo	=	17879.39 g

3. Diseño de mezclas de concreto – sustitución del 5% en peso del cemento Portland tipo I por ceniza de eucalipto

DISEÑO DE MEZCLA DEL CONCRETO CON 5% DE CENIZA DE EUCALIPTO

MATERIALES

Cemento:

Portland Pacasmayo TIPO I (A.S.T.M. C-150)

- Peso específico 3.11 g/cm³

Ceniza

Ceniza de Eucalipto

- Peso específico = 2.37 g/cm³

Agua:

Agua potable

Agregados:

Descripción	Agregado fino		Agregado grueso	
- Peso unitario suelto seco:	1618	kg/m ³	1390	kg/m ³
- Peso unitario compactado seco:	1728	kg/m ³	1510	kg/m ³
- Peso específico de masa:	2.590	g/cm ³	2.610	g/cm ³
- Peso específico sss:	2.630	g/cm ³	2.640	g/cm ³
- Peso específico aparente:	2.690	g/cm ³	2.690	g/cm ³
- Humedad:	3.05%		0.45%	
- Absorción:	1.40%		1.10%	
- Módulo de finura:	2.95		6.83	
- Abrasión:			29.00%	
- % que pasa malla N° 200	2.200		0.200	

VOLÚMENES ABSOLUTOS

Cemento	301.47/(3.11x1000)	=	0.097 m ³
Agua	205/1000	=	0.205 m ³
Aire	2.00%	=	0.020 m ³
Volumen absoluto de la pasta		=	0.322 m³
Agregado fino		=	0.337 m ³
Agregado grueso		=	0.341 m ³
Volumen absoluto de los agregados		=	0.678 m³

PESO SECO DE LOS MATERIALES DE DISEÑO POR m³

Cemento	=	286.397 kg/m ³
Agua de Diseño	=	205.000 l/m ³
Agregado Fino Seco	=	873.000 kg/m ³
Agregado Grueso Seco	=	890.000 kg/m ³
Ceniza de eucalipto al 5%	=	15.074 kg/m ³

MATERIALES CORREGIDOS POR HUMEDAD

Corrección por humedad de los agregados

Agregado fino	=	14.413 lt
Agregado grueso	=	-5.821 lt
Aporte total	=	8.593 lt

Cemento	=	286.397 kg/m ³
Agua Efectiva	=	196.407 l/m ³
Agregado Fino Húmedo	=	899.635 kg/m ³
Agregado Grueso Húmedo	=	893.969 kg/m ³
Ceniza de eucalipto al 5%	=	15.074 kg/m ³

V) DOSIFICACIÓN EN PESO

Cemento	=	0.95
Agregado fino	=	2.98
Agregado grueso	=	2.97
Ceniza eucalipto	=	0.05
Agua	=	29.15 lt/bls

VI) CONVERSIÓN DE DOSIFICACIÓN EN PESO A VOLUMEN

1. Materiales

	Agregado fino	Agregado grueso
- Peso unitario suelto seco:	1618 kg/m ³	1390 kg/m ³
- Humedad:	3.051%	0.446%

2. Determinación de la cantidad de materiales por tanda

Cemento	=	40.375 kg/bls
Agua efectiva	=	29.146 kg/bls
Agregado fino húmedo	=	126.827 kg/bls
Agregado grueso húmedo	=	126.028 kg/bls
Ceniza de eucalipto	=	2.125 kg/bls

3. Determinación de los pesos unitarios húmedos de los agregados

Peso unitario húmedo del agregado fino	=	1667.365 kg/m ³
Peso unitario húmedo del agregado grueso	=	1396.199 kg/m ³

4. Convertimos el peso unitario de los materiales a kg/pie³

Peso unitario húmedo del agregado fino	=	47.214 kg/pie ³
Peso unitario húmedo del agregado grueso	=	39.536 kg/pie ³
Bolsa de ceniza	=	2.125 kg/pie ³
Bolsa de cemento	=	40.375 kg/pie ³

DOSIFICACIÓN EN VOLUMEN

Cemento	=	0.95
Agregado fino	=	2.69
Agregado grueso	=	3.19
Ceniza eucalipto	=	0.05
Agua	=	29.15 lt/bls

VII) PROPORCIÓN POR TANDA 0.020 m³

TANDA	=	0.02 m ³
Cemento	=	5727.93 g
Agua efectiva	=	3928.15 g
Agregado fino húmedo	=	17992.70 g
Agregado grueso húmedo	=	17879.39 g
Ceniza de eucalipto	=	301.47 g

4. Diseño de mezclas de concreto – sustitución del 10% en peso del cemento Portland tipo I por ceniza de eucalipto

DISEÑO DE MEZCLA DEL CONCRETO CON 10% DE CENIZA DE EUCALIPTO

I) MATERIALES

1. Cemento:

Portland Pacasmayo TIPO I (A.S.T.M. C-150)

- Peso específico 3.11 g/cm³

2. CENIZA

Ceniza de Eucalipto

- Peso específico = 2.37 g/cm³

2. Agua:

Agua potable

3. Agregados:

Descripción	Agregado fino		Agregado grueso	
- Peso unitario suelto seco:	1618	kg/m ³	1390	kg/m ³
- Peso unitario compactado seco:	1728	kg/m ³	1510	kg/m ³
- Peso específico de masa:	2.590	g/cm ³	2.610	g/cm ³
- Peso específico sss:	2.630	g/cm ³	2.640	g/cm ³
- Peso específico aparante:	2.690	g/cm ³	2.690	g/cm ³
- Humedad:	3.05%		0.45%	
- Absorción:	1.40%		1.10%	
- Módulo de finura:	2.95		6.83	
- Abrasión:			29.00%	
- % que pasa malla N° 200	2.200		0.200	

II) VOLÚMENES ABSOLUTOS

Cemento	301.47/(3.11x1000)	=	0.097 m ³
Agua	205/1000	=	0.205 m ³
Aire	2.00%	=	0.020 m ³
Volumen absoluto de la pasta		=	0.322 m³
Agregado fino		=	0.337 m ³
Agregado grueso		=	0.341 m ³
Volumen absoluto de los agregados		=	0.678 m³

III) PESO SECO DE LOS MATERIALES DE DISEÑO POR m³

Cemento	=	271.323 kg/m ³
Agua de Diseño	=	205.000 l/m ³
Agregado Fino Seco	=	873.000 kg/m ³
Agregado Grueso Seco	=	890.000 kg/m ³
Ceniza de eucalipto al 10%	=	30.147 kg/m ³

IV) MATERIALES CORREGIDOS POR HUMEDAD

Corrección por humedad de los agregados

Agregado fino	=	14.413 lt
Agregado grueso	=	-5.821 lt
Aporte total	=	8.593 lt

Cemento	=	271.323 kg/m ³
Agua Efectiva	=	196.407 l/m ³
Agregado Fino Húmedo	=	899.635 kg/m ³
Agregado Grueso Húmedo	=	893.969 kg/m ³
Ceniza de eucalipto al 10%	=	30.147 kg/m ³

V) DOSIFICACIÓN EN PESO

Cemento	=	0.9
Agregado fino	=	2.98
Agregado grueso	=	2.97
Ceniza eucalipto	=	0.1
Agua	=	30.77 lt/bls

VI) CONVERSIÓN DE DOSIFICACIÓN EN PESO A VOLUMEN

1. Materiales

	Agregado fino	Agregado grueso
- Peso unitario suelto seco:	1618 kg/m ³	1390 kg/m ³
- Humedad:	3.051%	0.446%

2. Determinación de la cantidad de materiales por tanda

Cemento	=	38.250 kg/bls
Agua efectiva	=	30.765 kg/bls
Agregado fino húmedo	=	126.827 kg/bls
Agregado grueso húmedo	=	126.028 kg/bls
Ceniza de eucalipto	=	4.250 kg/bls

3. Determinación de los pesos unitarios húmedos de los agregados

Peso unitario húmedo del agregado fino	=	1667.365 kg/m ³
Peso unitario húmedo del agregado grueso	=	1396.199 kg/m ³

4. Convertimos el peso unitario de los materiales a kg/pie³

Peso unitario húmedo del agregado fino	=	47.214 kg/pie ³
Peso unitario húmedo del agregado grueso	=	39.536 kg/pie ³
Bolsa de ceniza	=	4.250 kg/pie ³
Bolsa de cemento	=	38.250 kg/pie ³

DOSIFICACIÓN EN VOLUMEN

Cemento	=	0.9:
Agregado fino	=	2.69:
Agregado grueso	=	3.19
Ceniza eucalipto	=	0.10
Agua	=	30.77 lt/bls

VII) PROPORCIÓN POR TANDA 0.020 m³

TANDA	=	0.02 m ³
Cemento	=	5426.46 g
Agua efectiva	=	3928.15 g
Agregado fino húmedo	=	17992.70 g
Agregado grueso húmedo	=	17879.39 g
Ceniza de eucalipto	=	602.94 g

5. Diseño de mezclas de concreto – sustitución del 15% en peso del cemento Portland tipo I por ceniza de eucalipto

DISEÑO DE MEZCLA DEL CONCRETO CON 15% DE CENIZA DE EUCALIPTO

I) MATERIALES

1. Cemento:

Portland Pacasmayo TIPO I (A.S.T.M. C-150)

- Peso específico = 3.11 g/cm³

2. Ceniza

Ceniza de Eucalipto

- Peso específico = 2.37 g/cm³

3. Agua:

Agua potable

4. Agregados:

Descripción	Agregado fino		Agregado grueso	
- Peso unitario suelto seco:	1618	kg/m ³	1390	kg/m ³
- Peso unitario compactado seco:	1728	kg/m ³	1510	kg/m ³
- Peso específico de masa:	2.590	g/cm ³	2.610	g/cm ³
- Peso específico sss:	2.630	g/cm ³	2.640	g/cm ³
- Peso específico aparente:	2.690	g/cm ³	2.690	g/cm ³
- Humedad:	3.05%		0.45%	
- Absorción:	1.40%		1.10%	
- Módulo de finura:	2.95		6.83	
- Abrasión:			29.00%	
- % que pasa malla N° 200	2.200		0.200	

II) VOLÚMENES ABSOLUTOS

Cemento	301.47/(3.11x1000)	=	0.097 m ³
Agua	205/1000	=	0.205 m ³
Aire	2.00%	=	0.020 m ³
Volumen absoluto de la pasta		=	0.322 m³
Agregado fino		=	0.337 m ³
Agregado grueso		=	0.341 m ³
Volumen absoluto de los agregados		=	0.678 m³

III) PESO SECO DE LOS MATERIALES DE DISEÑO POR m³

Cemento	=	256.250 kg/m ³
Agua de Diseño	=	205.000 l/m ³
Agregado Fino Seco	=	873.000 kg/m ³
Agregado Grueso Seco	=	890.000 kg/m ³
Ceniza de eucalipto al 15%	=	45.221 kg/m ³

IV) MATERIALES CORREGIDOS POR HUMEDAD

Corrección por humedad de los agregados

Agregado fino	=	14.413 lt
Agregado grueso	=	-5.821 lt
Aporte total	=	8.593 lt

Cemento	=	256.250 kg/m ³
Agua Efectiva	=	196.407 l/m ³
Agregado Fino Húmedo	=	899.635 kg/m ³
Agregado Grueso Húmedo	=	893.969 kg/m ³
Ceniza de eucalipto al 15%	=	45.221 kg/m ³

V) DOSIFICACIÓN EN PESO

Cemento	=	0.85
Agregado fino	=	2.98
Agregado grueso	=	2.97
Ceniza eucalipto	=	0.15
Agua	=	32.57 lt/bls

VI) CONVERSIÓN DE DOSIFICACIÓN EN PESO A VOLUMEN

1. Materiales

	Agregado fino	Agregado grueso
- Peso unitario suelto seco:	1618 kg/m ³	1390 kg/m ³
- Humedad:	3.051%	0.446%

2. Determinación de la cantidad de materiales por tanda

Cemento	=	36.125 kg/bls
Agua efectiva	=	32.575 kg/bls
Agregado fino húmedo	=	126.827 kg/bls
Agregado grueso húmedo	=	126.028 kg/bls
Ceniza de eucalipto	=	6.375 kg/bls

3. Determinación de los pesos unitarios húmedos de los agregados

Peso unitario húmedo del agregado fino	=	1667.365 kg/m ³
Peso unitario húmedo del agregado grueso	=	1396.199 kg/m ³

4. Convertimos el peso unitario de los materiales a kg/pie³

Peso unitario húmedo del agregado fino	=	47.214 kg/pie ³
Peso unitario húmedo del agregado grueso	=	39.536 kg/pie ³
Bolsa de ceniza	=	6.375 kg/pie ³
Bolsa de cemento	=	36.125 kg/pie ³

DOSIFICACIÓN EN VOLUMEN

Cemento	=	0.85:
Agregado fino	=	2.69:
Agregado grueso	=	3.19
Ceniza eucalipto	=	0.15
Agua	=	32.57 lt/bls

VII) PROPORCIÓN POR TANDA 0.020 m³

TANDA	=	0.02 m ³
Cemento	=	5124.99 g
Agua efectiva	=	3928.15 g
Agregado fino húmedo	=	17992.70 g
Agregado grueso húmedo	=	17879.39 g
Ceniza de eucalipto	=	904.41 g

ANEXO 03: PESO UNITARIO DEL CONCRETO

1. Peso unitario del concreto en estado fresco

Tabla 42. Peso específico del agua para el concreto en estado fresco

Descripción	Peso	unidades
Peso de la fiola	168.00	g
Peso de la fiola +agua	666.00	g
Volumen de la fiola	500.00	cm ³
Peso especifico	0.996	g/cm ³
P.e en (Kg/m ³)	996	kg/cm ³

Tabla 43. Factor de calibración (f) del molde

Descripción	Peso	Unidad
Peso del Molde	4197.00	g
Peso del Molde +Agua	14002.00	g
Peso Agua (Kg)	9.81	kg
f (1/m ³)	101.58	1/m ³

Tabla 44. Peso unitario del concreto en estado fresco en relación al tipo de concreto

TIPO DE CONCRETO	MUESTRA	f(1/m ³)	PESO DEL MOLDE	PESO DEL MOLDE + CONCRETO (kg)	PESO DEL CONCRETO (kg)	PESO UNITARIO (kg/m ³)	PESO UNITARIO PROMEDIO (kg/m ³)
PATRÓN	M1	101.66	4.172	27.145	22.973	2335.44	2336.08
	M2		4.172	27.124	22.952	2333.30	
	M3		4.172	27.185	23.013	2339.50	
5% P.C.E.	M1		4.172	27.078	22.906	2328.62	2325.17
	M2		4.172	27.022	22.850	2322.93	
	M3		4.172	27.032	22.860	2323.95	
10% P.C.E.	M1		4.172	26.562	22.390	2276.17	2304.94
	M2		4.172	26.975	22.803	2318.15	
	M3		4.172	26.998	22.826	2320.49	
15% P.C.E.	M1	4.172	26.558	22.386	2275.76	2282.94	
	M2	4.172	26.789	22.617	2299.24		
	M3	4.172	26.539	22.367	2273.83		

2. Peso unitario del concreto endurecido

a) Peso unitario del concreto en estado endurecido de muestra patrón

Tabla 45. Peso unitario del concreto patrón a las edades de 7,14 y 28 días de curado.

TIPO DE CONCRETO	EDAD(Días)	MUESTRA	Ø PROMEDIO (cm)	ÁREA (cm ²)	ALTURA (cm)	VOLUMEN(m ³)	PESO DEL CONCRETO (kg)	PESO UNITARIO (kg/m ³)	PESO UNITARIO O PROMEDIO (kg/m ³)
PATRÓN	7	M1	15.15	180.27	30.40	0.01	12.726	2322.17	2350.666
		M2	15.20	181.46	30.37	0.01	13.070	2371.65	
		M3	15.18	180.98	30.30	0.01	13.049	2379.6	
		M4	15.22	181.94	30.47	0.01	12.874	2322.27	
		M5	15.26	182.89	30.30	0.01	13.065	2357.64	
PATRÓN	14	M1	15.20	181.46	30.40	0.01	13.049	2365.5	2347.946
		M2	15.17	180.74	30.43	0.01	12.749	2318.03	
		M3	15.17	180.74	30.47	0.01	13.090	2376.91	
		M4	15.26	182.89	30.63	0.01	13.180	2352.76	
		M5	15.31	184.09	30.47	0.01	13.050	2326.53	
PATRÓN	28	M1	15.24	182.41	30.50	0.01	12.971	2331.44	2347.35
		M2	15.34	184.82	30.37	0.01	13.099	2333.7	
		M3	15.26	182.89	30.50	0.01	13.219	2369.78	
		M4	15.25	182.65	30.63	0.01	13.207	2360.68	
		M5	15.24	182.41	30.50	0.01	13.025	2341.15	

b) Peso unitario del concreto en estado endurecido con el 5% de sustitución del cemento Portland tipo I en peso por ceniza de eucalipto

Tabla 46. Peso unitario del concreto con 5% de sustitución a las edades de 7,14 y 28 días de curado.

TIPO DE CONCRETO	EDAD (Días)	MUESTRA	Ø PROMEDIO (cm)	ÁREA (cm ²)	ALTURA (cm)	VOLUMEN(m ³)	PESO DEL CONCRETO (kg)	PESO UNITARIO (kg/m ³)	PESO UNITARIO O PROMEDIO (kg/m ³)
5% P.C.E.	7	M1	15.27	183.13	30.30	0.01	13.025	2347.34	2345.28
		M2	15.31	184.09	30.43	0.01	12.718	2270.32	
		M3	15.06	178.13	30.30	0.01	13.020	2412.30	
		M4	15.17	180.74	30.23	0.01	12.905	2361.92	
		M5	15.24	182.41	30.30	0.01	12.903	2334.53	
5% P.C.E.	14	M1	15.25	182.65	30.40	0.01	13.003	2341.80	2346.98
		M2	15.19	181.22	30.30	0.01	12.934	2355.51	
		M3	15.26	182.89	30.37	0.01	12.954	2332.22	
		M4	15.48	188.21	30.23	0.01	13.382	2352.02	
		M5	15.24	182.41	30.33	0.01	13.020	2353.37	
5% P.C.E.	28	M1	15.27	183.13	30.37	0.01	13.030	2342.83	2342.07
		M2	15.24	182.41	30.57	0.01	12.942	2320.90	
		M3	15.34	184.82	30.50	0.01	12.998	2305.83	
		M4	15.23	182.18	30.53	0.01	12.970	2331.91	
		M5	15.08	178.6	30.17	0.01	12.980	2408.90	

c) Peso unitario del concreto en estado endurecido con el 10% de sustitución del cemento Portland Tipo I en peso por ceniza de eucalipto

Tabla 47. Peso unitario del concreto con 10% de sustitución a las edades de 7,14 y 28 días de curado.

TIPO DE CONCRET O	EDAD(Días)	MUESTR A	ØPROMEDI O (cm)	ÁREA (cm ²)	ALTURA (cm)	VOLUMEN(m ³)	PESO DEL CONCRET O (kg)	PESO UNITARI O (kg/m ³)	PESO UNITARIO PROMEDI O (kg/m ³)
10% P.C.E.	7	M1	15.18	180.98	30.20	0.01	12.776	2337.53	2348.58
		M2	15.22	181.94	30.20	0.01	12.850	2338.66	
		M3	15.13	179.79	30.30	0.01	12.998	2385.99	
		M4	15.18	180.98	30.07	0.01	12.812	2354.25	
		M5	15.25	182.65	30.13	0.01	12.803	2326.45	
10% P.C.E.	14	M1	15.28	183.37	30.37	0.01	13.022	2338.32	2346.64
		M2	15.25	182.65	30.37	0.01	13.005	2344.48	
		M3	15.24	182.41	30.27	0.01	13.031	2360.03	
		M4	15.27	183.13	30.43	0.01	12.934	2320.98	
		M5	15.16	180.5	30.57	0.01	13.074	2369.39	
10% P.C.E.	28	M1	15.21	181.7	30.40	0.01	12.680	2295.57	2337.81
		M2	15.14	180.03	30.27	0.01	12.815	2351.59	
		M3	15.21	181.7	30.40	0.01	13.013	2355.86	
		M4	15.15	180.27	30.17	0.01	12.807	2354.77	
		M5	15.24	182.41	30.30	0.01	12.885	2331.27	

d) Peso unitario del concreto en estado endurecido con el 15% de sustitución del cemento Portland tipo I en peso por ceniza de eucalipto

Tabla 48. Peso unitario del concreto con 15% de sustitución a las edades de 7,14 y 28 días de curado.

TIPO DE CONCRET O	EDAD(Días)	MUESTR A	ØPROMEDI O (cm)	ÁREA (cm ²)	ALTURA (cm)	VOLUMEN(m ³)	PESO DEL CONCRET O (kg)	PESO UNITARI O (kg/m ³)	PESO UNITARIO PROMEDI O (kg/m ³)
15% P.C.E.	7	M1	15.16	180.50	30.30	0.01	12.750	2331.26	2347.68
		M2	15.15	180.27	30.20	0.01	12.690	2330.94	
		M3	15.22	181.94	30.43	0.01	12.823	2316.11	
		M4	15.29	183.61	30.33	0.01	13.021	2338.17	
		M5	15.08	178.6	30.10	0.01	13.020	2421.94	
15% P.C.E.	14	M1	15.09	178.84	30.43	0.01	12.895	2369.49	2340.32
		M2	15.27	183.13	30.40	0.01	12.997	2334.59	
		M3	15.27	183.13	30.33	0.01	12.940	2329.71	
		M4	15.25	182.65	30.50	0.01	12.995	2332.69	
		M5	15.24	182.41	30.33	0.01	12.919	2335.11	
15% P.C.E.	28	M1	15.45	187.48	30.30	0.01	13.183	2320.69	2336.78
		M2	15.34	184.82	30.57	0.01	13.154	2328.16	
		M3	15.25	182.65	30.50	0.01	12.974	2328.92	
		M4	15.24	182.41	30.47	0.01	13.032	2344.71	
		M5	15.25	182.65	30.43	0.01	13.125	2361.44	

ANEXO 04: RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE RESISTENCIA A COMPRESIÓN

1. Resistencia a compresión a los 7 días de curado

a) Resultados a compresión de la muestra patrón

Nº DE TESTIGO	1	2	3	4	5
IDENTIFICACIÓN	PATRON-M1	PATRON-M2	PATRON-M3	PATRON-M4	PATRON-M5
FECHA DE MUESTREO	16/09/2024	16/09/2024	16/09/2024	16/09/2024	16/09/2024
EDAD (días)	7	7	7	7	7
FECHA DE ROTURA	23/09/2024	23/09/2024	23/09/2024	23/09/2024	23/09/2024
DIÁMETRO (cm)	15.15	15.20	15.18	15.22	15.26
ALTURA (cm)	30.40	30.37	30.30	30.47	30.30
PESO (g)	12726	13070	13049	12874	13065
VOLUMEN (cm ³)	5480.10	5510.89	5483.73	5543.60	5541.68
ESBELTEZ	2.01	2.00	2.00	2.00	1.99
FACTOR DE CORRECCIÓN	1	1	1	1	1
TIPO DE ROTURA	2	2	2	2	5
PESO ESPECÍFICO (g/cm ³)	2.32	2.37	2.38	2.32	2.36
CARGA (Tn)	35	41	41.5	38.5	38
CARGA (Kg)	35000.00	41000.00	41500.00	38500.00	38000.00
ÁREA (cm ²)	180.27	181.46	180.98	181.94	182.89
RESISTENCIA DE DISEÑO (kg/cm ²)	210.00	210.00	210.00	210.00	210.00
RESISTENCIA OBTENIDA (kg/cm ²)	194.16	225.95	229.31	211.61	207.77
PROMEDIO (kg/cm ²)	213.76				
PORCENTAJE OBTENIDO (%)	92.46%	107.59%	109.19%	100.77%	98.94%
DESVIACIÓN ESTÁNDAR (σ)	14.27				
VARIANZA (σ^2)	203.74				
COEFICIENTE DE VARIACIÓN (%)	6.68%				

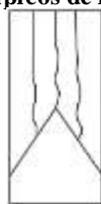
OBSERVACIONES:

En el momento del ensayo a la compresión de estas 5 probetas se obtuvieron los siguientes resultados: 4 probetas de fractura tipo 2 y 1 probetas de fractura tipo 5

Esquema de patrones típicos de fractura:



Tipo 1
Conos razonables bien formados, en ambas bases, menos de 25 mm de grietas entre capas.



Tipo 2
Conos bien formado, sobre una base, desplazamiento de grietas verticales a través de las capas, cono no bien definido en las otras partes.



Tipo 3
Grietas verticales columnares en ambas bases, conos no bien formados.



Tipo 4
Fractura diagonal sin grietas en las bases, golpear con martillo para diferencias del tipo 1.



Tipo 5
Fracturas de lado en las bases (superior o inferior) ocurren comúnmente con las capas de embonado.



Tipo 6
Similar al tipo 5 pero al terminar del cilindro es acentuado.

b) Resultados a compresión con 5% de ceniza de eucalipto

Nº DE TESTIGO	1	2	3	4	5
IDENTIFICACIÓN	5% PCE-M1	5% PCE-M2	5% PCE-M3	5% PCE-M4	5% PCE-M5
FECHA DE MUESTREO	16/09/2024	16/09/2024	16/09/2024	16/09/2024	16/09/2024
EDAD (días)	7	7	7	7	7
FECHA DE ROTURA	23/09/2024	23/09/2024	23/09/2024	23/09/2024	23/09/2024
DIÁMETRO (cm)	15.27	15.31	15.06	15.17	15.24
ALTURA (cm)	30.30	30.43	30.30	30.23	30.30
PESO (g)	13025	12718	13020	12905	12903
VOLUMEN (cm ³)	5548.95	5601.99	5397.37	5463.86	5527.17
ESBELTEZ	1.98	1.99	2.01	1.99	1.99
FACTOR DE CORRECCIÓN	1	1	1	1	1
TIPO DE ROTURA	3	3	3	3	5
PESO ESPECÍFICO (g/cm ³)	2.35	2.27	2.41	2.36	2.33
CARGA (Tn)	36	35.5	34	35	35
CARGA (Kg)	36000.00	35500.00	34000.00	35000.00	35000.00
ÁREA (cm ²)	183.13	184.09	178.13	180.74	182.41
RESISTENCIA DE DISEÑO (kg/cm ²)	210.00	210.00	210.00	210.00	210.00
RESISTENCIA OBTENIDA (kg/cm ²)	196.58	192.84	190.87	193.65	191.87
PROMEDIO (kg/cm ²)	193.16				
PORCENTAJE OBTENIDO (%)	93.61%	91.83%	90.89%	92.21%	91.37%
DESVIACIÓN ESTÁNDAR (σ)	2.18				
VARIANZA (σ^2)	4.73				
COEFICIENTE DE VARIACIÓN (%)	1.13%				

OBSERVACIONES:

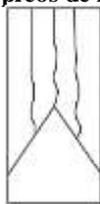
En el momento del ensayo a la compresión de estas 5 probetas se obtuvieron los siguientes resultados: 4 probetas de fractura tipo 3 y 1 probetas de fractura tipo 5

Esquema de patrones típicos de fractura:



Tipo 1

Conos razonables bien formados, en ambas bases, menos de 25 mm de grietas entre capas.



Tipo 2

Conos bien formado, sobre una base, desplazamiento de grietas verticales a través de las capas, cono no bien definido en las otras partes.



Tipo 3

Grietas verticales columnares en ambas bases, conos no bien formados.



Tipo 4

Fractura diagonal sin grietas en las bases, golpear con martillo para diferencias del tipo 1.



Tipo 5

Fracturas de lado en las bases (superior o inferior) ocurren comúnmente con las capas de embonado.



Tipo 6

Similar al tipo 5 pero al terminar del cilindro es acentuado.

c) Resultados a compresión con 10% de ceniza de eucalipto

Nº DE TESTIGO	1	2	3	4	5
IDENTIFICACIÓN	10%PCE-M1	10%PCE-M2	10%PCE-M3	10%PCE-M4	10%PCE-M5
FECHA DE MUESTREO	17/09/2024	17/09/2024	17/09/2024	17/09/2024	17/09/2024
EDAD (días)	7	7	7	7	7
FECHA DE ROTURA	24/09/2024	24/09/2024	24/09/2024	24/09/2024	24/09/2024
DIÁMETRO (cm)	15.18	15.22	15.13	15.18	15.25
ALTURA (cm)	30.20	30.20	30.30	30.07	30.13
PESO (g)	12776	12850	12998	12812	12803
VOLUMEN (cm ³)	5465.63	5494.47	5447.66	5442.10	5503.37
ESBELTEZ	1.99	1.98	2.00	1.98	1.98
FACTOR DE CORRECCIÓN	1	1	1	1	1
TIPO DE ROTURA	3	3	5	3	5
PESO ESPECÍFICO (g/cm ³)	2.34	2.34	2.39	2.35	2.33
CARGA (Tn)	32	35	34	31.5	32
CARGA (Kg)	32000.00	35000.00	34000.00	31500.00	32000.00
ÁREA (cm ²)	180.98	181.94	179.79	180.98	182.65
RESISTENCIA DE DISEÑO (kg/cm ²)	210.00	210.00	210.00	210.00	210.00
RESISTENCIA OBTENIDA (kg/cm ²)	176.81	192.38	189.11	174.05	175.19
PROMEDIO (kg/cm ²)	181.51				
PORCENTAJE OBTENIDO (%)	84.20%	91.61%	90.05%	82.88%	83.43%
DESVIACIÓN ESTÁNDAR (σ)	8.56				
VARIANZA (σ^2)	73.34				
COEFICIENTE DE VARIACIÓN (%)	4.72%				

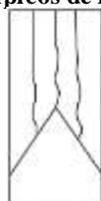
OBSERVACIONES:

En el momento del ensayo a la compresión de estas 5 probetas se obtuvieron los siguientes resultados: 3 probetas de fractura tipo 3 y 2 probetas de fractura tipo 5

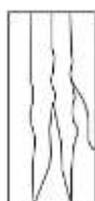
Esquema de patrones típicos de fractura:



Tipo 1
Conos razonables bien formados, en ambas bases, menos de 25 mm de grietas entre capas.



Tipo 2
Conos bien formado, sobre una base, desplazamiento de grietas verticales a través de las capas, cono no bien definido en las otras partes.



Tipo 3
Grietas verticales columnares en ambas bases, conos no bien formados.



Tipo 4
Fractura diagonal sin grietas en las bases, golpear con martillo para diferencias del tipo 1.



Tipo 5
Fracturas de lado en las bases (superior o inferior) ocurren comúnmente con las capas de embonado.



Tipo 6
Similar al tipo 5 pero al terminar del cilindro es acentuado.

d) Resultados a compresión con 15% de ceniza de eucalipto

Nº DE TESTIGO	1	2	3	4	5
IDENTIFICACIÓN	15% PCE-M1	15% PCE-M2	15% PCE-M3	15% PCE-M4	15% PCE-M5
FECHA DE MUESTREO	17/09/2024	17/09/2024	17/09/2024	17/09/2024	17/09/2024
EDAD (días)	7	7	7	7	7
FECHA DE ROTURA	24/09/2024	24/09/2024	24/09/2024	24/09/2024	24/09/2024
DIÁMETRO (cm)	15.16	15.15	15.22	15.29	15.08
ALTURA (cm)	30.30	30.20	30.43	30.33	30.10
PESO (g)	12750	12690	12823	13021	13020
VOLUMEN (cm ³)	5469.29	5444.05	5536.32	5569.00	5376.00
ESBELTEZ	2.00	1.99	2.00	1.98	2.00
FACTOR DE CORRECCIÓN	1	1	1	1	1
TIPO DE ROTURA	6	6	6	6	6
PESO ESPECÍFICO (g/cm ³)	2.33	2.33	2.32	2.34	2.42
CARGA (Tn)	30	31.5	31	32.5	30.5
CARGA (Kg)	30000.00	31500.00	31000.00	32500.00	30500.00
ÁREA (cm ²)	180.50	180.27	181.94	183.61	178.60
RESISTENCIA DE DISEÑO (kg/cm ²)	210.00	210.00	210.00	210.00	210.00
RESISTENCIA OBTENIDA (kg/cm ²)	166.20	174.74	170.39	177.00	170.77
PROMEDIO (kg/cm ²)	171.82				
PORCENTAJE OBTENIDO (%)	79.14%	83.21%	81.14%	84.29%	81.32%
DESVIACIÓN ESTÁNDAR (σ)	4.19				
VARIANZA (σ^2)	17.53				
COEFICIENTE DE VARIACIÓN (%)	2.44%				

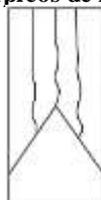
OBSERVACIONES:

En el momento del ensayo a la compresión de estas 5 probetas se obtuvieron los siguientes resultados: 5 probetas de fractura tipo 6

Esquema de patrones típicos de fractura:



Tipo 1
Conos razonables bien formados, en ambas bases, menos de 25 mm de grietas entre capas.



Tipo 2
Conos bien formado, sobre una base, desplazamiento de grietas verticales a través de las capas, cono no bien definido en las otras partes.



Tipo 3
Grietas verticales columnares en ambas bases, conos no bien formados.



Tipo 4
Fractura diagonal sin grietas en las bases, golpear con martillo para diferencias del tipo 1.



Tipo 5
Fracturas de lado en las bases (superior o inferior) ocurren comúnmente con las capas de embonado.



Tipo 6
Similar al tipo 5 pero al terminar del cilindro es acentuado.

2. Resistencia a compresión a los 14 días de curado

a) Resistencia a compresión muestra patrón

Nº DE TESTIGO	1	2	3	4	5
IDENTIFICACIÓN	PATRON-M1	PATRON-M2	PATRON-M3	PATRON-M4	PATRON-M5
FECHA DE MUESTREO	16/08/2024	16/08/2024	16/07/2024	16/07/2024	16/07/2024
EDAD (días)	7	7	7	7	7
FECHA DE ROTURA	23/08/2024	23/08/2024	23/07/2024	23/07/2024	23/07/2024
DIÁMETRO (cm)	15.20	15.17	15.17	15.26	15.31
ALTURA (cm)	30.40	30.43	30.47	30.63	30.47
PESO (g)	13049	12749	13090	13180	13050
VOLUMEN (cm ³)	5516.34	5500.00	5507.23	5602.04	5609.35
ESBELTEZ	2.00	2.01	2.01	2.01	1.99
FACTOR DE CORRECCIÓN	1	1	1	1	1
TIPO DE ROTURA	2	2	2	6	6
PESO ESPECÍFICO (g/cm ³)	2.37	2.32	2.38	2.35	2.33
CARGA (Tn)	42.5	43	43.5	46	46.5
CARGA (Kg)	42500.00	43000.00	43500.00	46000.00	46500.00
ÁREA (cm ²)	181.46	180.74	180.74	182.89	184.09
RESISTENCIA DE DISEÑO (kg/cm ²)	210.00	210.00	210.00	210.00	210.00
RESISTENCIA OBTENIDA (kg/cm ²)	234.21	237.91	240.67	251.51	252.59
PROMEDIO (kg/cm ²)	243.38				
PORCENTAJE OBTENIDO (%)	111.53%	113.29%	114.61%	119.77%	120.28%
DESVIACIÓN ESTÁNDAR (σ)	8.25				
VARIANZA (σ^2)	68.06				
COEFICIENTE DE VARIACIÓN (%)	3.39%				

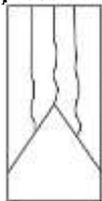
OBSERVACIONES:

En el momento del ensayo a la compresión de estas 5 probetas se obtuvieron los siguientes resultados: 3 probetas de fractura tipo 2 y 2 probetas de fractura tipo 6

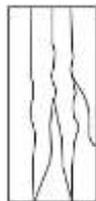
Esquema de patrones típicos de fractura:



Tipo 1
Conos razonables bien formados, en ambas bases, menos de 25 mm de grietas entre capas.



Tipo 2
Conos bien formado, sobre una base, desplazamiento de grietas verticales a través de las capas, cono no bien definido en las otras partes.



Tipo 3
Grietas verticales columnares en ambas bases, conos no bien formados.



Tipo 4
Fractura diagonal sin grietas en las bases, golpear con martillo para diferencias del tipo 1.



Tipo 5
Fracturas de lado en las bases (superior o inferior) ocurren comúnmente con las capas de embonado.



Tipo 6
Similar al tipo 5 pero al terminar del cilindro es acentuado.

b) Resultados a compresión con 5% de ceniza de eucalipto

Nº DE TESTIGO	1	2	3	4	5
IDENTIFICACIÓN	5% PCE-M1	5% PCE-M2	5% PCE-M3	5% PCE-M4	5% PCE-M5
FECHA DE MUESTREO	16/09/2024	16/09/2024	16/09/2024	16/09/2024	16/09/2024
EDAD (días)	14	14	14	14	14
FECHA DE ROTURA	30/09/2024	30/09/2024	30/09/2024	30/09/2024	30/09/2024
DIÁMETRO (cm)	15.25	15.19	15.26	15.48	15.24
ALTURA (cm)	30.40	30.30	30.37	30.23	30.33
PESO (g)	13003	12934	12954	13382	13020
VOLUMEN (cm ³)	5552.69	5490.96	5554.48	5689.45	5532.64
ESBELTEZ	1.99	1.99	1.99	1.95	1.99
FACTOR DE CORRECCIÓN	1	1	1	1	1
TIPO DE ROTURA	5	3	5	5	5
PESO ESPECÍFICO (g/cm ³)	2.34	2.36	2.33	2.35	2.35
CARGA (Tn)	42.5	40.5	43	41	40
CARGA (Kg)	42500.00	40500.00	43000.00	41000.00	40000.00
ÁREA (cm ²)	182.65	181.22	182.89	188.21	182.41
RESISTENCIA DE DISEÑO (kg/cm ²)	210.00	210.00	210.00	210.00	210.00
RESISTENCIA OBTENIDA (kg/cm ²)	232.68	223.49	235.11	217.85	219.28
PROMEDIO (kg/cm ²)	225.68				
PORCENTAJE OBTENIDO (%)	110.80%	106.42%	111.96%	103.74%	104.42%
DESVIACIÓN ESTÁNDAR (σ)	7.83				
VARIANZA (σ^2)	61.26				
COEFICIENTE DE VARIACIÓN (%)	3.47%				

OBSERVACIONES:

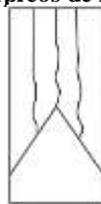
En el momento del ensayo a la compresión de estas 5 probetas se obtuvieron los siguientes resultados: 4 probetas de fractura tipo 5 y 1 probetas de fractura tipo 3

Esquema de patrones típicos de fractura:



Tipo 1

Conos razonables bien formados, en ambas bases, menos de 25 mm de grietas entre capas.



Tipo 2

Conos bien formado, sobre una base, desplazamiento de grietas verticales a través de las capas, cono no bien definido en las otras partes.



Tipo 3

Grietas verticales columnares en ambas bases, conos no bien formados.



Tipo 4

Fractura diagonal sin grietas en las bases, golpear con martillo para diferencias del tipo 1.



Tipo 5

Fracturas de lado en las bases (superior o inferior) ocurren comúnmente con las capas de embonado.



Tipo 6

Similar al tipo 5 pero al terminar del cilindro es acentuado.

c) Resultados a compresión con 10% de ceniza de eucalipto

Nº DE TESTIGO	1	2	3	4	5
IDENTIFICACIÓN	10%PCE-M1	10%PCE-M2	10%PCE-M3	10%PCE-M4	10%PCE-M5
FECHA DE MUESTREO	17/09/2024	17/09/2024	17/09/2024	17/09/2024	17/09/2024
EDAD (días)	14	14	14	14	14
FECHA DE ROTURA	01/10/2024	01/10/2024	01/10/2024	01/10/2024	01/10/2024
DIÁMETRO (cm)	15.28	15.25	15.24	15.27	15.16
ALTURA (cm)	30.37	30.37	30.27	30.43	30.57
PESO (g)	13022	13005	13031	12934	13074
VOLUMEN (cm ³)	5569.05	5547.21	5521.69	5572.75	5518.03
ESBELTEZ	1.99	1.99	1.99	1.99	2.02
FACTOR DE CORRECCIÓN	1	1	1	1	1
TIPO DE ROTURA	2	2	2	2	5
PESO ESPECÍFICO (g/cm ³)	2.34	2.34	2.36	2.32	2.37
CARGA (Tn)	40	40.5	38	37	39.5
CARGA (Kg)	40000.00	40500.00	38000.00	37000.00	39500.00
ÁREA (cm ²)	183.37	182.65	182.41	183.13	180.50
RESISTENCIA DE DISEÑO (kg/cm ²)	210.00	210.00	210.00	210.00	210.00
RESISTENCIA OBTENIDA (kg/cm ²)	218.13	221.73	208.32	202.04	218.83
PROMEDIO (kg/cm ²)	213.81				
PORCENTAJE OBTENIDO (%)	103.87%	105.59%	99.20%	96.21%	104.21%
DESVIACIÓN ESTÁNDAR (σ)	8.30				
VARIANZA (σ^2)	68.85				
COEFICIENTE DE VARIACIÓN (%)	3.88%				

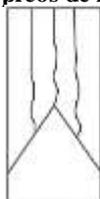
OBSERVACIONES:

En el momento del ensayo a la compresión de estas 5 probetas se obtuvieron los siguientes resultados: 4 probetas de fractura tipo 2 y 1 probetas de fractura tipo 5

Esquema de patrones típicos de fractura:



Tipo 1
Conos razonables bien formados, en ambas bases, menos de 25 mm de grietas entre capas.



Tipo 2
Conos bien formado, sobre una base, desplazamiento de grietas verticales a través de las capas, cono no bien definido en las otras partes.



Tipo 3
Grietas verticales columnares en ambas bases, conos no bien formados.



Tipo 4
Fractura diagonal sin grietas en las bases, golpear con martillo para diferencias del tipo 1.



Tipo 5
Fracturas de lado en las bases (superior o inferior) ocurren comúnmente con las capas de embonado.



Tipo 6
Similar al tipo 5 pero al terminar del cilindro es acentuado.

d) Resultados a compresión con 15% de ceniza de eucalipto

Nº DE TESTIGO	1	2	3	4	5
IDENTIFICACIÓN	15% PCE-M1	15% PCE-M2	15% PCE-M3	15% PCE-M4	15% PCE-M5
FECHA DE MUESTREO	17/09/2024	17/09/2024	17/09/2024	17/09/2024	17/09/2024
EDAD (días)	14	14	14	14	14
FECHA DE ROTURA	01/10/2024	01/10/2024	01/10/2024	01/10/2024	01/10/2024
DIÁMETRO (cm)	15.09	15.27	15.27	15.25	15.24
ALTURA (cm)	30.43	30.40	30.33	30.50	30.33
PESO (g)	12895	12997	12940	12995	12919
VOLUMEN (cm ³)	5442.15	5567.26	5554.44	5570.95	5532.64
ESBELTEZ	2.02	1.99	1.99	2.00	1.99
FACTOR DE CORRECCIÓN	1	1	1	1	1
TIPO DE ROTURA	3	3	3	3	3
PESO ESPECÍFICO (g/cm ³)	2.37	2.33	2.33	2.33	2.34
CARGA (Tn)	33.5	33.5	34.5	35	35.5
CARGA (Kg)	33500.00	33500.00	34500.00	35000.00	35500.00
ÁREA (cm ²)	178.84	183.13	183.13	182.65	182.41
RESISTENCIA DE DISEÑO (kg/cm ²)	210.00	210.00	210.00	210.00	210.00
RESISTENCIA OBTENIDA (kg/cm ²)	187.32	182.93	188.39	191.62	194.61
PROMEDIO (kg/cm ²)	188.97				
PORCENTAJE OBTENIDO (%)	89.20%	87.11%	89.71%	91.25%	92.67%
DESVIACIÓN ESTÁNDAR (σ)	4.43				
VARIANZA (σ^2)	19.61				
COEFICIENTE DE VARIACIÓN (%)	2.34%				

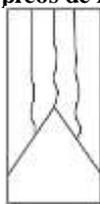
OBSERVACIONES:

En el momento del ensayo a la compresión de estas 5 probetas se obtuvieron los siguientes resultados: 5 probetas de fractura tipo 3

Esquema de patrones típicos de fractura:



Tipo 1
Conos razonables bien formados, en ambas bases, menos de 25 mm de grietas entre capas.



Tipo 2
Conos bien formado, sobre una base, desplazamiento de grietas verticales a través de las capas, cono no bien definido en las otras partes.



Tipo 3
Grietas verticales columnares en ambas bases, conos no bien formados.



Tipo 4
Fractura diagonal sin grietas en las bases, golpear con martillo para diferencias del tipo 1.



Tipo 5
Fracturas de lado en las bases (superior o inferior) ocurren comúnmente con las capas de embonado.



Tipo 6
Similar al tipo 5 pero al terminar del cilindro es acentuado.

3. Resistencia a compresión a los 28 días de curado

a) Resistencia a compresión muestra patrón

N° DE TESTIGO	1	2	3	4	5
IDENTIFICACIÓN	PATRON-M1	PATRON-M2	PATRON-M3	PATRON-M4	PATRON-M5
FECHA DE MUESTREO	16/09/2024	16/09/2024	16/09/2024	16/09/2024	16/09/2024
EDAD (días)	28	28	28	28	28
FECHA DE ROTURA	14/10/2024	14/10/2024	14/10/2024	14/10/2024	14/10/2024
DIÁMETRO (cm)	15.24	15.34	15.26	15.25	15.24
ALTURA (cm)	30.50	30.37	30.50	30.63	30.50
PESO (g)	12971	13099	13219	13207	13025
VOLUMEN (cm ³)	5563.65	5612.88	5578.26	5594.70	5563.65
ESBELTEZ	2.00	1.98	2.00	2.01	2.00
FACTOR DE CORRECCIÓN	1	1	1	1	1
TIPO DE ROTURA	5	5	5	5	2
PESO ESPECÍFICO (g/cm ³)	2.33	2.33	2.37	2.36	2.34
CARGA (Tn)	49	47.5	46.5	45.6	48.5
CARGA (Kg)	49000.00	47500.00	46500.00	45600.00	48500.00
ÁREA (cm ²)	182.41	184.82	182.89	182.65	182.41
RESISTENCIA DE DISEÑO (kg/cm ²)	210.00	210.00	210.00	210.00	210.00
RESISTENCIA OBTENIDA (kg/cm ²)	268.62	257.01	254.25	249.65	265.88
PROMEDIO (kg/cm ²)	259.08				
PORCENTAJE OBTENIDO (%)	127.91%	122.39%	121.07%	118.88%	126.61%
DESVIACIÓN ESTÁNDAR (σ)	7.96				
VARIANZA (σ^2)	63.43				
COEFICIENTE DE VARIACIÓN (%)	3.07%				

OBSERVACIONES:

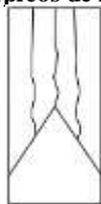
En el momento del ensayo a la compresión de estas 5 probetas se obtuvieron los siguientes resultados : 4 probetas de fractura tipo 5 y 1 probetas de fractura tipo 2

Esquema de patrones típicos de fractura:



Tipo 1

Conos razonables bien formados, en ambas bases, menos de 25 mm de grietas entre capas.



Tipo 2

Conos bien formado, sobre una base, desplazamiento de grietas verticales a través de las capas, cono no bien definido en las otras partes.



Tipo 3

Grietas verticales columnares en ambas bases, conos no bien formados.



Tipo 4

Fractura diagonal sin grietas en las bases, golpear con martillo para diferencias del tipo 1.



Tipo 5

Fracturas de lado en las bases (superior o inferior) ocurren comúnmente con las capas de embonado.



Tipo 6

Similar al tipo 5 pero al terminar del cilindro es acentuado.

b) Resultados a compresión con 5% de ceniza de eucalipto

N° DE TESTIGO	1	2	3	4	5
IDENTIFICACIÓN	5% PCE-M1	5% PCE-M2	5% PCE-M3	5% PCE-M4	5% PCE-M5
FECHA DE MUESTREO	16/09/2024	16/09/2024	16/09/2024	16/09/2024	16/09/2024
EDAD (días)	28	28	28	28	28
FECHA DE ROTURA	14/10/2024	14/10/2024	14/10/2024	14/10/2024	14/10/2024
DIÁMETRO (cm)	15.27	15.24	15.34	15.23	15.08
ALTURA (cm)	30.37	30.57	30.50	30.53	30.17
PESO (g)	13030	12942	12998	12970	12980
VOLUMEN (cm ³)	5561.77	5576.42	5636.90	5561.81	5388.50
ESBELTEZ	1.99	2.01	1.99	2.00	2.00
FACTOR DE CORRECCIÓN	1	1	1	1	1
TIPO DE ROTURA	2	3	2	2	2
PESO ESPECÍFICO (g/cm ³)	2.34	2.32	2.31	2.33	2.41
CARGA (T)	43	46	46.5	45.5	44
CARGA (Kg)	43000.00	46000.00	46500.00	45500.00	44000.00
ÁREA (cm ²)	183.13	182.41	184.82	182.18	178.60
RESISTENCIA DE DISEÑO (kg/cm ²)	210.00	210.00	210.00	210.00	210.00
RESISTENCIA OBTENIDA (kg/cm ²)	234.80	252.17	251.60	249.76	246.35
PROMEDIO (kg/cm ²)	246.94				
PORCENTAJE OBTENIDO (%)	111.81%	120.08%	119.81%	118.93%	117.31%
DESVIACIÓN ESTÁNDAR (σ)	7.15				
VARIANZA (σ^2)	51.19				
COEFICIENTE DE VARIACIÓN (%)	2.90%				

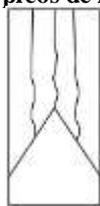
OBSERVACIONES:

En el momento del ensayo a la compresión de estas 5 probetas se obtuvieron los siguientes resultados: 4 probetas de fractura tipo 2 y 1 probetas de fractura tipo 3

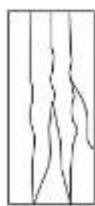
Esquema de patrones típicos de fractura:



Tipo 1
Conos razonables bien formados, en ambas bases, menos de 25 mm de grietas entre capas.



Tipo 2
Conos bien formado, sobre una base, desplazamiento de grietas verticales a través de las capas, cono no bien definido en las otras partes.



Tipo 3
Grietas verticales columnares en ambas bases, conos no bien formados.



Tipo 4
Fractura diagonal sin grietas en las bases, golpear con martillo para diferencias del tipo 1.



Tipo 5
Fracturas de lado en las bases (superior o inferior) ocurren comúnmente con las capas de embonado.



Tipo 6
Similar al tipo 5 pero al terminar del cilindro es acentuado.

c) Resultados a compresión con 10% de ceniza de eucalipto

Nº DE TESTIGO	1	2	3	4	5
IDENTIFICACIÓN	10% PCE-M1	10% PCE-M2	10% PCE-M3	10% PCE-M4	10% PCE-M5
FECHA DE MUESTREO	17/09/2024	17/09/2024	17/09/2024	17/09/2024	17/09/2024
EDAD (días)	28	28	28	28	28
FECHA DE ROTURA	15/10/2024	15/10/2024	15/10/2024	15/10/2024	15/10/2024
DIÁMETRO (cm)	15.21	15.14	15.21	15.15	15.24
ALTURA (cm)	30.40	30.27	30.40	30.17	30.30
PESO (g)	12680	12815	13013	12807	12885
VOLUMEN (cm ³)	5523.60	5449.47	5523.60	5438.64	5527.17
ESBELTEZ	2.00	2.00	2.00	1.99	1.99
FACTOR DE CORRECCIÓN	1	1	1	1	1
TIPO DE ROTURA	2	5	5	5	5
PESO ESPECÍFICO (g/cm ³)	2.30	2.35	2.36	2.35	2.33
CARGA (Tn)	42.5	42	44.5	40.5	41
CARGA (Kg)	42500.00	42000.00	44500.00	40500.00	41000.00
ÁREA (cm ²)	181.70	180.03	181.70	180.27	182.41
RESISTENCIA DE DISEÑO (kg/cm ²)	210.00	210.00	210.00	210.00	210.00
RESISTENCIA OBTENIDA (kg/cm ²)	233.91	233.30	244.91	224.67	224.76
PROMEDIO (kg/cm ²)	232.31				
PORCENTAJE OBTENIDO (%)	111.38%	111.09%	116.63%	106.98%	107.03%
DESVIACIÓN ESTÁNDAR (σ)	8.33				
VARIANZA (σ^2)	69.43				
COEFICIENTE DE VARIACIÓN (%)	3.59%				

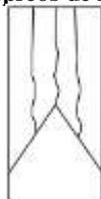
OBSERVACIONES:

En el momento del ensayo a la compresión de estas 5 probetas se obtuvieron los siguientes resultados: 4 probetas de fractura tipo 5 y 1 probetas de fractura tipo 2

Esquema de patrones típicos de fractura:



Tipo 1
Conos razonables bien formados, en ambas bases, menos de 25 mm de grietas entre capas.



Tipo 2
Conos bien formado, sobre una base, desplazamiento de grietas verticales a través de las capas, cono no bien definido en las otras partes.



Tipo 3
Grietas verticales columnares en ambas bases, conos no bien formados.



Tipo 4
Fractura diagonal sin grietas en las bases, golpear con martillo para diferencias del tipo 1.



Tipo 5
Fracturas de lado en las bases (superior o inferior) ocurren comúnmente con las capas de embonado.



Tipo 6
Similar al tipo 5 pero al terminar del cilindro es acentuado.

d) Resultados a compresión con 15% de ceniza de eucalipto

Nº DE TESTIGO	1	2	3	4	5
IDENTIFICACIÓN	15% PCE-M1	15% PCE-M2	15% PCE-M3	15% PCE-M4	15% PCE-M5
FECHA DE MUESTREO	17/09/2024	17/09/2024	17/09/2024	17/09/2024	17/09/2024
EDAD (días)	28	28	28	28	28
FECHA DE ROTURA	15/10/2024	15/10/2024	15/10/2024	15/10/2024	15/10/2024
DIÁMETRO (cm)	15.45	15.34	15.25	15.24	15.25
ALTURA (cm)	30.30	30.57	30.50	30.47	30.43
PESO (g)	13183	13154	12974	13032	13125
VOLUMEN (cm ³)	5680.54	5649.84	5570.95	5558.18	5558.17
ESBELTEZ	1.96	1.99	2.00	2.00	2.00
FACTOR DE CORRECCIÓN	1	1	1	1	1
TIPO DE ROTURA	5	5	6	6	6
PESO ESPECÍFICO (g/cm ³)	2.32	2.33	2.33	2.34	2.36
CARGA (Tn)	38	40.5	38.5	35	39.5
CARGA (Kg)	38000.00	40500.00	38500.00	35000.00	39500.00
ÁREA (cm ²)	187.48	184.82	182.65	182.41	182.65
RESISTENCIA DE DISEÑO (kg/cm ²)	210.00	210.00	210.00	210.00	210.00
RESISTENCIA OBTENIDA (kg/cm ²)	202.69	219.14	210.78	191.87	216.26
PROMEDIO (kg/cm ²)	208.15				
PORCENTAJE OBTENIDO (%)	96.52%	104.35%	100.37%	91.37%	102.98%
DESVIACIÓN ESTÁNDAR (σ)	11.05				
VARIANZA (σ^2)	122.03				
COEFICIENTE DE VARIACIÓN (%)	5.31%				

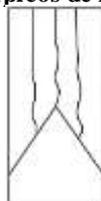
OBSERVACIONES:

En el momento del ensayo a la compresión de estas 5 probetas se obtuvieron los siguientes resultados: 3 probetas de fractura tipo 6 y 2 probetas de fractura tipo 5

Esquema de patrones típicos de fractura:



Tipo 1
Conos razonables bien formados, en ambas bases, menos de 25 mm de grietas entre capas.



Tipo 2
Conos bien formado, sobre una base, desplazamiento de grietas verticales a través de las capas, cono no bien definido en las otras partes.



Tipo 3
Grietas verticales columnares en ambas bases, conos no bien formados.



Tipo 4
Fractura diagonal sin grietas en las bases, golpear con martillo para diferencias del tipo 1.



Tipo 5
Fracturas de lado en las bases (superior o inferior) ocurren comúnmente con las capas de embonado.



Tipo 6
Similar al tipo 5 pero al terminar del cilindro es acentuado.

ANEXO 05: CONSTANCIA DEL USO DE LABORATORIO



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



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

CONSTANCIA

A nombre del Bach. NEYDER ESMEY MEDINA GAMBOA, Exalumno de la Escuela Académico Profesional de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional de Cajamarca, con la cual se da constancia que se han realizado las siguientes actividades:

ÍTEM	DETALLE
01	Ensayo contenido de humedad
02	Ensayo análisis granulométrico
03	Ensayo peso unitario suelto y compactado
04	Ensayo peso específico
05	Ensayo de absorción
06	Ensayo material más fino que pasa el tamiz 200
07	Ensayo de resistencia a la degradación, por abrasión e impacto
08	Elaboración de especímenes de concreto
09	Ensayo a compresión muestras cilíndricas

Para la Tesis Titulada: "VARIACIÓN DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN DE UN CONCRETO $f_c = 210 \text{ Kg/cm}^2$, AL SUSTITUIR EL CEMENTO PORTLAND TIPO I POR CENIZA DE EUCALIPTO – CAJAMARCA, 2024". Las actividades se desarrollaron del 02 de setiembre al 18 de octubre de 2024.

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

Cajamarca, 24 de octubre de 2024.

Atentamente:

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA
FACULTAD DE INGENIERÍA

Ing. Marco Cesar Torres Vargas
JEFE DEL LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES

c.c. a:
_Archivo

ANEXO 06: RESULTADOS DE LABORATORIO QUÍMICO DE LA CENIZA DE EUCALIPTO



Ensayos Físicos, Químicos y de Mecánica de Suelos,
Concreto y Pavimentos, Análisis Químico de Minerales y Agua.
Estudio de: Mecánica de Suelos y Rocas, Concreto y Pavimentos.
Impacto Ambiental, Construcción de Edificios, Obras de Ingeniería Civil.
PROYECTOS - ASESORÍA Y CONSULTORÍA
RPM: *696826 CELULAR: 976026950 TELEFONO: 364793

COMPOSICIÓN QUÍMICA DE ÓXIDOS

SOLICITA : NEYDER ESMEY MEDINA GAMBOA
TESIS : "VARIACIÓN DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN DE UN
CONCRETO $f_c=210 \text{ kg/cm}^2$ AL SUSTITUIR EL
CEMENTO PORTLAND TIPO I POR CENIZA DE
EUCALIPTO - CAJAMARCA, 2024"
MUESTRA : CENIZA DE EUCALIPTO
FECHA : 15/09/2024

RESULTADOS

Componente	Porcentaje
Dióxido de Sílice (SiO_2)	64.12%
Óxido de Calcio (CaO)	13.91%
Trióxido de Azufre (SO_2)	8.43%
Óxido de Magnesio (MgO)	4.97%
Óxido de Manganeso (MnO)	1.88%
Trióxido de Aluminio (Al_2O_3)	1.28%
Pentóxido de Fósforo (P_2O_5)	1.22%
Trióxido de Hierro (Fe_2O_3)	0.86%
Óxido de Bario (BaO)	0.28%
Óxido de Zinc (ZnO)	0.03%
Óxido de Cobre (CuO)	0.01%
Trióxido de Cromo (CrO_3)	0.01%

Nota: La muestra ha sido alcanzada al laboratorio por el interesado, para su posterior análisis.


Dr. Hugo Masqueiro Estraver
JEFE DE LABORATORIO
CIP 27664

ANEXO 07: FICHA TÉCNICA DEL CEMENTO PORTLAND TIPO I



DESCRIPCIÓN

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

ATRIBUTOS

Altas resistencias a todas las edades

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

PRESENTACIONES



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

RECOMENDACIONES DE USO

- Utilizar agregados y materiales de buena calidad.
- A mayor ses la humedad de los agregados, se debe dosificar menor cantidad de agua.

DOSIFICACIONES RECOMENDADAS

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

Aplicación	Resistencia (f'c)	Cemento	Arena fina	Polvo de ladrillo (máximo 10 mm)	Agua
Lotes aligerados, placas y otros	175	1	2	3	0.5 (*)
Vigas y columnas	210	1	2	2	0.5 (*)

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

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

RECOMENDACIONES DE ALMACENAMIENTO

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





¿QUÉ ES EL ECOSACO?

Bolsa que se desgrega con la acción de la piedra en mazdas de concreto.

BENEFICIOS DE USAR ECOSACO

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

CÓMO USAR EL ECOSACO EN 5 MINUTOS

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

ESCALA DE EMISIONES DE CARBONO

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

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

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

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

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

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



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



*Tipos de esquema de certificación

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

CERTIFICACIONES DE LA COMPAÑÍA



También miembros de **gbc™**



Informe de ensayo de fábrica
CEMENTOS PACASMAYO S.A.A.
 Calle La Coloma Nro. 150 Urb. El Vivero de Moctezuma Santiago de Surco - Lima
 Carretera Panamericana Norte Km. 666 Pacasmayo - La Libertad
 Teléfono 311 - 9000



Planta: Pacasmayo

Cemento Tipo I
 Tipo I - Cemento Portland de Uso General
 Periodo de despacho 01 de marzo de 2024 - 31 de marzo de 2024

REQUISITOS NORMALIZADOS

NTP 334.009 Tablas 1 y 3

QUÍMICOS

Requisitos	Especificación	Resultado de ensayos
MgO (%)	6.0 máx.	2.2
SO3 (%)	3.00 máx.	2.76
Pérdida por ignición (%)	3.5 máx.	2.9
Residuo insoluble (%)	1.5 máx.	0.6
Alcalis Equivalentes (%)	A	0.9

FÍSICOS

Requisitos	Especificación	Resultado de ensayos
Contenido de aire del mortero (volumen %)	12 máx.	9
Superficie específica (m ² /kg)	260 mín.	400
Expansión en autoclave (%)	0.80 máx.	0.08
Densidad (g/cm ³)	A	3.11
Resistencia a la compresión (MPa)		
1 día	A	14.4
3 días	12.0 mín.	27.9
7 días	19.0 mín.	33.3
28 días *	28.0 mín.	39.4
Tiempo de fraguado Vicat (minutos)		
Inicial	45 mín.	115
Final	375 máx.	230
Expansión en barra de mortero curada en agua a 14 días (%)	0.020 máx.	0.006

A No especifica
 * Requisito opcional

Certificamos que el cemento descrito arriba, al tiempo de envío, cumple con los requisitos químicos y físicos de la NTP 334.009 y del reglamento técnico DS 001-2022 PRODUCE.

Ing. Dennis R. Rodas Lavado

Superintendente de Control de Calidad



DS 001-2022 PRODUCE
 Cemento Hidráulico
 utilizado en Edificaciones y
 Construcciones en General



NTP 334.009
 ASTM C 150
 Cemento Portland

Solicitado por:

Distribuidora Norte Pacasmayo S. R. L.

Esta prohibida la reproducción total o parcial de este documento sin la autorización de Cementos Pacasmayo S. A. A.



Esquema de certificación 5

Otorga el certificado de conformidad de producto ICONTEC (Esquema de certificación 5 según ISO/IEC 17067) para:
It grants the certificate of conformity product ICONTEC (Certification Scheme 5 according ISO/IEC 17067) for:

CEMENTO PORTLAND

Fabricado por **CEMENTOS PACASMAYO S.A.A.** en la Panamericana Norte Km 666 Pacasmayo, La Libertad, Perú
Manufactured by **CEMENTOS PACASMAYO S.A.A.** in the Panamericana Norte Km 666 Pacasmayo, La Libertad, Perú

El derecho del uso del certificado de conformidad de producto se otorga con el referencial:
The right to use the certificate of conformity of product is granted with the Audit Criteria:

NTP 334.009:2022

Cementos Pórtland

Portland cement

SECTOR ICS 91.100.10

Este certificado de conformidad de producto está sujeto a que la empresa y el producto cumplan permanentemente con los requisitos establecidos en el referencial y en el documento "R-PS-019 Reglamento para la certificación de producto tangible", lo cual será verificado por ICONTEC

This certificate of conformity of product is subject to the company's and product's permanent fulfillment of the requirements set forth in the audit criteria and the "R-PS-019 Reglamento para la Certificación de producto tangible" document, which will be verified by ICONTEC.

Las referencias autorizadas para ostentar el certificado de conformidad de producto se incluyen en documento anexo que es parte integral del presente certificado

The references authorized to hold the certificate of conformity of product are included in annexed document and it is integral part of this certificate

Certificado: CSC - CER1016270

Certificate

Fecha de Aprobación: 2023-08-18

Approval Date:

Fecha de Renovación:

Renewal Date:

Fecha Última Modificación:

Last Modification Date:

Fecha de Vencimiento: 2029-08-17

Expiration Date:

La autenticidad del certificado y su alcance se puede consultar al correo electrónico: cliente@contec.org

Roberto Enrique Montoya Villa
Director Ejecutivo

ICONTEC es un organismo de Certificación acreditado por
ICONTEC is a certification body accredited by



T-PS-001
Versión 00

Este certificado es propiedad de ICONTEC, y debe ser devuelto cuando sea solicitado
ICONTEC, Carrera 37 no. 52 - 95, Bogotá DC, Colombia



Esquema de certificación 5

Otorga el certificado de conformidad de producto ICONTEC (Esquema de certificación 5 según ISO/IEC 17067) para:
It grants the certificate of conformity product ICONTEC (Certification Scheme 5 according ISO/IEC 17067) for:

CEMENTO PORTLAND

Fabricado por **CEMENTOS PACASMAYO S.A.A.** en la Panamericana Norte Km 666 Pacasmayo, La Libertad, Perú
Manufactured by **CEMENTOS PACASMAYO S.A.A.** in the Panamericana Norte Km 666 Pacasmayo, La Libertad, Perú

El derecho del uso del certificado de conformidad de producto se otorga con el referencial:
The right to use the certificate of conformity of product is granted with the Audit Criteria:

NTP 334.009:2022

Cementos Portland

Portland cement

SECTOR ICS 91.100.10

Este certificado de conformidad de producto está sujeto a que la empresa y el producto cumplan permanentemente con los requisitos establecidos en el referencial y en el documento "R-PS-019 Reglamento para la certificación de producto tangible", lo cual será verificado por ICONTEC.

This certificate of conformity of product is subject to the company's and product's permanent fulfillment of the requirements set forth in the audit criteria and the "R-PS-019 Reglamento para la Certificación de producto tangible" document, which will be verified by ICONTEC.

Las referencias autorizadas para ostentar el certificado de conformidad de producto se incluyen en documento anexo que es parte integral del presente certificado.

The references authorized to hold the certificate of conformity of product are included in annexed document and it is integral part of this certificate.

Certificado: CSC - CER1016270

Certificate

Fecha de Aprobación: 2023-08-18

Approval Date:

Fecha de Renovación:

Renewal Date:

Fecha Última Modificación:

Last Modification Date:

Fecha de Vencimiento: 2029-08-17

Expiration Date:

La autenticidad del certificado y su alcance se puede consultar al correo electrónico: cliente@contec.org

Roberto Enrique Montoya Villa
Director Ejecutivo

ICONTEC es un organismo de Certificación acreditado por
ICONTEC is a certification body accredited by



T-PS-002
Versión 00

Este certificado es propiedad de ICONTEC, y debe ser devuelto cuando sea solicitado
ICONTEC, Carrera 37 no. 52 - 95, Bogotá DC, Colombia



Esquema de certificación 5

Otorga el certificado de conformidad de producto ICONTEC (Esquema de certificación 5 según ISO/IEC 17067) para:
It grants the certificate of conformity product ICONTEC (Certification Scheme 5 according ISO/IEC 17067) for:

CEMENTO HIDRÁULICO

Fabricado por **CEMENTOS PACASMAYO S.A.A.** en la Panamericana Norte Km 666 Pacasmayo, La Libertad, Perú
Manufactured by **CEMENTOS PACASMAYO S.A.A.** in the Panamericana Norte Km 666 Pacasmayo, La Libertad, Perú

El derecho del uso del certificado de conformidad de producto se otorga con el referencial:
The right to use the certificate of conformity of product is granted with the Audit Criteria:

Decreto Supremo No 001-2022

Decreto supremo que aprueba el Reglamento Técnico sobre Cemento Hidráulico utilizado en Edificaciones y Construcciones en General.

Supreme Decree that approves the Technical Regulation on Hydraulic Cement used in Buildings and Construction in General.
SECTOR ICS 91.100.10

Este certificado de conformidad de producto está sujeto a que la empresa y el producto cumplan permanentemente con los requisitos establecidos en el referencial y en el documento "R-PS-019 Reglamento para la certificación de producto tangible", lo cual será verificado por ICONTEC.

This certificate of conformity of product is subject to the company's and product's permanent fulfillment of the requirements set forth in the audit criteria and the "R-PS-019 Reglamento para la Certificación de producto tangible" document, which will be verified by ICONTEC.

Las referencias autorizadas para ostentar el certificado de conformidad de producto se incluyen en documento anexo que es parte integral del presente certificado.

The references authorized to hold the certificate of conformity of product are included in annexed document and it is integral part of this certificate.

Certificado: CSR -CER1016291

Certificate

Fecha de Aprobación: 2023-08-18

Approval Date:

Fecha de Renovación:

Renewal Date:

Fecha Última Modificación:

Last Modification Date:

Fecha de Vencimiento: 2029-08-17

Expiration Date:

La autenticidad del certificado y su alcance se puede consultar al correo electrónico: clientes@icontec.org

Roberto Enrique Montoya Villa
Director Ejecutivo

ICONTEC es un organismo de Certificación acreditado por
ICONTEC is a certification body accredited by



Este certificado es propiedad de ICONTEC y debe ser devuelto cuando sea solicitado
This certificate is the property of ICONTEC and must be returned when requested
ICONTEC Carrera 20 No. 54 - 90, Bogotá D.C., Colombia

F-PS-628
Versión 00

ANEXO 08: TABLAS DE DISTRIBUCIÓN NORMAL

a) Tabla de estimación de z

$$F(z) = \int_{-\infty}^z \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{t^2}{2}} dt$$

DISTRIBUCIÓN ACUMULATIVA NORMAL

Dr. Miguel Angel Macetas Hernández

z	F(z)														
0.50	0.69146	0.95	0.82894	1.40	0.91924	1.85	0.96784	2.30	0.98928	2.75	0.99702	3.20	0.99931	3.65	0.99987
0.51	0.69487	0.96	0.83147	1.41	0.92073	1.86	0.96956	2.31	0.99056	2.76	0.99711	3.21	0.99934	3.66	0.99987
0.52	0.69847	0.97	0.83398	1.42	0.92220	1.87	0.96928	2.32	0.99134	2.77	0.99720	3.22	0.99936	3.67	0.99988
0.53	0.70194	0.98	0.83646	1.43	0.92364	1.88	0.96895	2.33	0.99200	2.78	0.99728	3.23	0.99938	3.68	0.99988
0.54	0.70540	0.99	0.83891	1.44	0.92507	1.89	0.96861	2.34	0.99266	2.79	0.99736	3.24	0.99940	3.69	0.99989
0.55	0.70884	1.00	0.84134	1.45	0.92647	1.9	0.96828	2.35	0.99331	2.8	0.99744	3.25	0.99942	3.7	0.99989
0.56	0.71226	1.01	0.84375	1.46	0.92785	1.91	0.96795	2.36	0.99396	2.81	0.99752	3.26	0.99944	3.71	0.99990
0.57	0.71566	1.02	0.84614	1.47	0.92922	1.92	0.96761	2.37	0.99461	2.82	0.99760	3.27	0.99946	3.72	0.99990
0.58	0.71904	1.03	0.84849	1.48	0.93056	1.93	0.96728	2.38	0.99526	2.83	0.99767	3.28	0.99948	3.73	0.99990
0.59	0.72240	1.04	0.85083	1.49	0.93188	1.94	0.96694	2.39	0.99591	2.84	0.99774	3.29	0.99950	3.74	0.99991
0.60	0.72575	1.05	0.85314	1.50	0.93319	1.95	0.96661	2.40	0.99656	2.85	0.99781	3.3	0.99952	3.75	0.99991
0.61	0.72907	1.06	0.85543	1.51	0.93448	1.96	0.96628	2.41	0.99721	2.86	0.99788	3.31	0.99953	3.76	0.99992
0.62	0.73237	1.07	0.85769	1.52	0.93574	1.97	0.96595	2.42	0.99781	2.87	0.99795	3.32	0.99955	3.77	0.99992
0.63	0.73565	1.08	0.85993	1.53	0.93699	1.98	0.96561	2.43	0.99841	2.88	0.99802	3.33	0.99957	3.78	0.99992
0.64	0.73891	1.09	0.86214	1.54	0.93822	1.99	0.96527	2.44	0.99901	2.89	0.99807	3.34	0.99958	3.79	0.99992
0.65	0.74215	1.1	0.86433	1.55	0.93943	2.00	0.96493	2.45	0.99961	2.9	0.99813	3.35	0.99960	3.8	0.99993
0.66	0.74537	1.11	0.86650	1.56	0.94062	2.01	0.96458	2.46	0.99985	2.91	0.99819	3.36	0.99961	3.81	0.99993
0.67	0.74857	1.12	0.86864	1.57	0.94179	2.02	0.96423	2.47	0.99985	2.92	0.99825	3.37	0.99962	3.82	0.99993
0.68	0.75175	1.13	0.87076	1.58	0.94295	2.03	0.96388	2.48	0.99981	2.93	0.99831	3.38	0.99964	3.83	0.99994
0.69	0.75490	1.14	0.87286	1.59	0.94408	2.04	0.96353	2.49	0.99981	2.94	0.99836	3.39	0.99965	3.84	0.99994
0.70	0.75804	1.15	0.87493	1.60	0.94520	2.05	0.96318	2.50	0.99979	2.95	0.99841	3.4	0.99966	3.85	0.99994
0.71	0.76115	1.16	0.87698	1.61	0.94630	2.06	0.96283	2.51	0.99976	2.96	0.99846	3.41	0.99968	3.86	0.99994
0.72	0.76424	1.17	0.87900	1.62	0.94738	2.07	0.96247	2.52	0.99973	2.97	0.99851	3.42	0.99969	3.87	0.99995
0.73	0.76730	1.18	0.88100	1.63	0.94845	2.08	0.96212	2.53	0.99970	2.98	0.99856	3.43	0.99970	3.88	0.99995
0.74	0.77035	1.19	0.88298	1.64	0.94950	2.09	0.96176	2.54	0.99966	2.99	0.99861	3.44	0.99971	3.89	0.99995
0.75	0.77337	1.2	0.88493	1.65	0.95053	2.1	0.96141	2.55	0.99961	3.00	0.99865	3.45	0.99972	3.9	0.99995
0.76	0.77637	1.21	0.88686	1.66	0.95154	2.11	0.96105	2.56	0.99957	3.01	0.99869	3.46	0.99973	3.91	0.99995
0.77	0.77935	1.22	0.88877	1.67	0.95254	2.12	0.96070	2.57	0.99952	3.02	0.99874	3.47	0.99974	3.92	0.99995
0.78	0.78230	1.23	0.89065	1.68	0.95352	2.13	0.96034	2.58	0.99948	3.03	0.99878	3.48	0.99975	3.93	0.99995
0.79	0.78524	1.24	0.89251	1.69	0.95449	2.14	0.96000	2.59	0.99943	3.04	0.99882	3.49	0.99976	3.94	0.99995
0.80	0.78814	1.25	0.89435	1.70	0.95543	2.15	0.95964	2.60	0.99938	3.05	0.99886	3.5	0.99977	3.95	0.99995
0.81	0.79103	1.26	0.89617	1.71	0.95637	2.16	0.95928	2.61	0.99933	3.06	0.99890	3.51	0.99978	3.96	0.99995
0.82	0.79389	1.27	0.89796	1.72	0.95728	2.17	0.95893	2.62	0.99928	3.07	0.99893	3.52	0.99978	3.97	0.99995
0.83	0.79673	1.28	0.89973	1.73	0.95818	2.18	0.95858	2.63	0.99923	3.08	0.99896	3.53	0.99979	3.98	0.99997
0.84	0.79955	1.29	0.90147	1.74	0.95907	2.19	0.95824	2.64	0.99918	3.09	0.99899	3.54	0.99980	3.99	0.99997
0.85	0.80234	1.3	0.90320	1.75	0.95994	2.2	0.95790	2.65	0.99913	3.1	0.99903	3.55	0.99981	4.00	0.99997
0.86	0.80511	1.31	0.90490	1.76	0.96080	2.21	0.95755	2.66	0.99908	3.11	0.99906	3.56	0.99981	4.01	0.99997
0.87	0.80785	1.32	0.90658	1.77	0.96164	2.22	0.95720	2.67	0.99903	3.12	0.99910	3.57	0.99982	4.02	0.99997
0.88	0.81057	1.33	0.90824	1.78	0.96246	2.23	0.95685	2.68	0.99901	3.13	0.99913	3.58	0.99983	4.03	0.99997
0.89	0.81327	1.34	0.90988	1.79	0.96327	2.24	0.95649	2.69	0.99898	3.14	0.99916	3.59	0.99983	4.04	0.99997
0.90	0.81594	1.35	0.91149	1.80	0.96407	2.25	0.95613	2.70	0.99895	3.15	0.99918	3.6	0.99984	4.05	0.99997
0.91	0.81859	1.36	0.91309	1.81	0.96485	2.26	0.95577	2.71	0.99892	3.16	0.99921	3.61	0.99985	4.06	0.99998
0.92	0.82121	1.37	0.91466	1.82	0.96562	2.27	0.95540	2.72	0.99889	3.17	0.99924	3.62	0.99985	4.07	0.99998
0.93	0.82381	1.38	0.91621	1.83	0.96638	2.28	0.95504	2.73	0.99886	3.18	0.99926	3.63	0.99986	4.08	0.99998
0.94	0.82639	1.39	0.91774	1.84	0.96712	2.29	0.95468	2.74	0.99883	3.19	0.99929	3.64	0.99986	4.09	0.99998

b) Tabla de estimación p

z	0.00	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09
0.0	0.5000	0.5040	0.5080	0.5120	0.5160	0.5199	0.5239	0.5279	0.5319	0.5359
0.1	0.5398	0.5438	0.5478	0.5517	0.5557	0.5596	0.5636	0.5675	0.5714	0.5753
0.2	0.5793	0.5832	0.5871	0.5910	0.5948	0.5987	0.6026	0.6064	0.6103	0.6141
0.3	0.6179	0.6217	0.6255	0.6293	0.6331	0.6368	0.6406	0.6443	0.6480	0.6517
0.4	0.6554	0.6591	0.6628	0.6664	0.6700	0.6736	0.6772	0.6808	0.6844	0.6879
0.5	0.6915	0.6950	0.6985	0.7019	0.7054	0.7088	0.7123	0.7157	0.7190	0.7224
0.6	0.7257	0.7291	0.7324	0.7357	0.7389	0.7422	0.7454	0.7486	0.7517	0.7549
0.7	0.7580	0.7611	0.7642	0.7673	0.7704	0.7734	0.7764	0.7794	0.7823	0.7852
0.8	0.7881	0.7910	0.7939	0.7967	0.7995	0.8023	0.8051	0.8078	0.8106	0.8133
0.9	0.8159	0.8186	0.8212	0.8238	0.8264	0.8289	0.8315	0.8340	0.8365	0.8389
1.0	0.8413	0.8438	0.8461	0.8485	0.8508	0.8531	0.8554	0.8577	0.8599	0.8621
1.1	0.8643	0.8665	0.8686	0.8708	0.8729	0.8749	0.8770	0.8790	0.8810	0.8830
1.2	0.8849	0.8869	0.8888	0.8907	0.8925	0.8944	0.8962	0.8980	0.8997	0.9015
1.3	0.9032	0.9049	0.9066	0.9082	0.9099	0.9115	0.9131	0.9147	0.9162	0.9177
1.4	0.9192	0.9207	0.9222	0.9236	0.9251	0.9265	0.9279	0.9292	0.9306	0.9319
1.5	0.9332	0.9345	0.9357	0.9370	0.9382	0.9394	0.9406	0.9418	0.9429	0.9441
1.6	0.9452	0.9463	0.9474	0.9484	0.9495	0.9505	0.9515	0.9525	0.9535	0.9545
1.7	0.9554	0.9564	0.9573	0.9582	0.9591	0.9599	0.9608	0.9616	0.9625	0.9633
1.8	0.9641	0.9649	0.9656	0.9664	0.9671	0.9678	0.9686	0.9693	0.9699	0.9706
1.9	0.9713	0.9719	0.9726	0.9732	0.9738	0.9744	0.9750	0.9756	0.9761	0.9767
2.0	0.9772	0.9778	0.9783	0.9788	0.9793	0.9798	0.9803	0.9808	0.9812	0.9817
2.1	0.9821	0.9826	0.9830	0.9834	0.9838	0.9842	0.9846	0.9850	0.9854	0.9857
2.2	0.9861	0.9864	0.9868	0.9871	0.9875	0.9878	0.9881	0.9884	0.9887	0.9890
2.3	0.9893	0.9896	0.9898	0.9901	0.9904	0.9906	0.9909	0.9911	0.9913	0.9916
2.4	0.9918	0.9920	0.9922	0.9925	0.9927	0.9929	0.9931	0.9932	0.9934	0.9936
2.5	0.9938	0.9940	0.9941	0.9943	0.9945	0.9946	0.9948	0.9949	0.9951	0.9952
2.6	0.9953	0.9955	0.9956	0.9957	0.9959	0.9960	0.9961	0.9962	0.9963	0.9964
2.7	0.9965	0.9966	0.9967	0.9968	0.9969	0.9970	0.9971	0.9972	0.9973	0.9974
2.8	0.9974	0.9975	0.9976	0.9977	0.9977	0.9978	0.9979	0.9979	0.9980	0.9981
2.9	0.9981	0.9982	0.9982	0.9983	0.9984	0.9984	0.9985	0.9985	0.9986	0.9986
3.0	0.9987	0.9987	0.9987	0.9988	0.9988	0.9989	0.9989	0.9989	0.9990	0.9990
3.1	0.9990	0.9991	0.9991	0.9991	0.9992	0.9992	0.9992	0.9992	0.9993	0.9993
3.2	0.9993	0.9993	0.9994	0.9994	0.9994	0.9994	0.9994	0.9995	0.9995	0.9995
3.3	0.9995	0.9995	0.9995	0.9996	0.9996	0.9996	0.9996	0.9996	0.9996	0.9997
3.4	0.9997	0.9997	0.9997	0.9997	0.9997	0.9997	0.9997	0.9997	0.9997	0.9998
3.5	0.9998	0.9998	0.9998	0.9998	0.9998	0.9998	0.9998	0.9998	0.9998	0.9998

ANEXO 09: PANEL FOTOGRÁFICO

Figura 11.Recojo de muestra de agregado grueso recolectadas de la cantera “Aguilar” ubicada en Tartar chico



Figura 12.Ensayo para determinar el contenido de humedad del agregado grueso



Figura 13.Ensayo de análisis granulométrico del agregado grueso para determinar módulo de finura



Figura 14.Ensayo para determinar Peso unitario del agregado grueso



Figura 15.Ensayo para determinar el peso específico del agregado fino.



Figura 16.Ensayo para determinar el peso específico agregado grueso.



Figura 17. Análisis granulométrico del agregado fino.



Figura 18. Tamizado de la ceniza de eucalipto para eliminar las impurezas.



Figura 19. Ensayo para determinar el porcentaje de abrasión o desgaste en la maquina de los Ángeles



Figura 20. Ensayo para determinar el peso específico de masa de la ceniza de eucalipto



Figura 21. Elaboración de los especímenes de concreto con diferentes dosificaciones de ceniza de eucalipto



Figura 22. Verificación del Slump de muestra patrón



Figura 23. Curado de los especímenes de concreto



Figura 24. Medición del diámetro y su altura de los especímenes de concreto



Figura 25. Ensayo a la compresion de probetas cilindricas a los 14 días de curado

