



UNIVERSIDAD LAICA ELOY ALFARO DE MANABÍ
FACULTAD DE INGENIERÍA, INDUSTRIA Y ARQUITECTURA

CARRERA: INGENIERÍA CIVIL

INFORME FINAL DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Previo a la obtención del título de:

INGENIERO CIVIL

MODALIDAD: PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

TEMA:

APROVECHAMIENTO DEL HORMIGÓN RECICLADO PARA REEMPLAZO
DE AGREGADO GRUESO A BASE DE CILINDROS ENSAYADOS EN EL
LABORATORIO CON UN DISEÑO DE 280 KG/CM^2 PARA BACHEO DE VÍAS.

ELABORADO POR:

MOREIRA BRAVO JHONNY ENRIQUE

TUTORA:

ING. CARMITA GUADALUPE JIMÉNEZ MERCHÁN, MSC

MANTA - MANABÍ – ECUADOR

AGOSTO 2025

APROBACIÓN DEL TUTOR

Como tutora académica de la carrera de Ingeniería civil en la Universidad Laica "Eloy Alfaro" de Manabí, certifico lo siguiente:

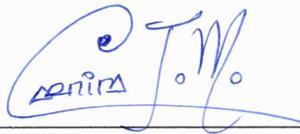
He supervisado y orientado la elaboración del trabajo de titulación, completando un total de 384 horas, bajo la modalidad de **Proyecto de Investigación**. El tema del proyecto se titula " **APROVECHAMIENTO DEL HORMIGÓN RECICLADO PARA REEMPLAZO DE AGREGADO GRUESO A BASE DE CILINDROS ENSAYADOS EN EL LABORATORIO CON UN DISEÑO DE 280 KG/CM² PARA BACHEO DE VÍAS**". Este proyecto ha sido desarrollado conforme a los lineamientos internos de la mencionada modalidad, y ha cumplido con los requisitos establecidos por el Reglamento de Régimen Académico. Por lo tanto, **certifico** que el proyecto mencionado posee los méritos académicos, científicos y formales necesarios para ser evaluado por el tribunal de titulación designado por la autoridad competente.

La autoría del tema desarrollado corresponde a **Jhonny Enrique Moreira Bravo**, estudiante de la carrera de Ingeniería civil, período académico 2025 (1), quien se encuentra apto para la sustentación de su trabajo de titulación.

Certifico lo anterior para los fines pertinentes, a menos que la ley disponga lo contrario.

Manta, 10 de septiembre del 2025.

Lo certifico,



Ing. Carmita Guadalupe Jiménez Merchán, MSC.

C.C. 130632623-0

Tutora

DECLARACIÓN DE AUTORIA

Yo, **Jhonny Enrique Moreira Bravo** con CC: **131655735-2**, doy constancia de ser el autor del Trabajo de Titulación con modalidad Proyecto de investigación con el tema " **APROVECHAMIENTO DEL HORMIGÓN RECICLADO PARA REEMPLAZO DE AGREGADO GRUESO A BASE DE CILINDROS ENSAYADOS EN EL LABORATORIO CON UN DISEÑO DE 280 KG/CM² PARA BACHEO DE VÍAS**", el cual fue dirigido por la tutora, Ing. Carmita Guadalupe Jiménez, MSc.

Quiero resaltar la originalidad de este trabajo, que se fundamenta en la contribución de varios autores que enriquecieron la investigación, así como en la recopilación de datos e información provenientes de fuentes bibliográficas, visitas de campo, entre otros recursos.

En la ciudad de Manta, a los 10 días del mes de septiembre del dos mil veinte y cinco.



Jhonny Enrique Moreira Bravo
C.C. 1316557352-2
Autor

CERTIFICACIÓN DE APROBACIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

En calidad de tribunales de la Facultad de Ingeniería, Industria y Arquitectura de la Universidad Laica "Eloy Alfaro" de Manabí, certifico:

Haber revisado el trabajo de titulación, bajo la modalidad de Proyecto de Investigación, cuyo tema es " **APROVECHAMIENTO DEL HORMIGÓN RECICLADO PARA REEMPLAZO DE AGREGADO GRUESO A BASE DE CILINDROS ENSAYADOS EN EL LABORATORIO CON UN DISEÑO DE 280 KG/CM² PARA BACHEO DE VÍAS** " internos de la modalidad en mención y en apego al cumplimiento de los requisitos exigidos por el Reglamento de Régimen Académico, por tal motivo APRUEBO, que el mencionado proyecto reúne los méritos académicos, científicos y formales, suficientes para proceder a la defensa correspondiente.

Certifico lo anterior para los fines pertinentes, a salvo disposición de Ley en contrario. En la ciudad de Manta, a los 10 días del mes de septiembre del dos mil veinte y cinco.



Ing. Oleas Escalante Marcelo, Mg.
C.C. 060180951-0
Tribunal 1



Ing. Rodríguez Andrade Yuri, Mg.
C.C. 1304300302-2
Tribunal 2

DEDICATORIA.

Gracias a la infinita bondad y misericordia de Dios todo poderoso en permitirme vivir y poder llegar hasta hoy, le dedico este momento tan especial en mi vida a mi familia, especialmente a mis padres Jhonny Moreira y Ligia Bravo, que bajo su humildad y sacrificio supieron guiarme en el camino, e inspirar a seguir estudiando para poder llegar hasta este momento. Gracias por su amor, por su dedicación, consejos acertados y en fin apoyo incondicional. Yo sé señor que no pudiste darme una mejor familia, pero es la que amo y me llena en cada momento especial de mi vida, a su vez agradezco por la vida de mis hermanos que me comprenden y apoyan en lo que se puede, hoy, mañana y siempre, los amo.

AGRADECIMIENTOS.

Es gratificante reconocer que los conocimientos necesarios para culminar la carrera con éxito en esta universitaria no habría sido posible sin la ayuda de Dios todo poderoso, gracias a que siempre me ha protegido y guiado para la culminación de la carrera, tan importante en mi vida y necesario de hacer la mención de todos los ingenieros de la carrera de Ingeniería Civil de la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí, que impartieron sus conocimientos y dedicación incondicional en cada clase que brindaban. Ya que, sin ayuda de ellos, no se habría terminado la carrera, especialmente a los ingenieros Yuri Rodríguez y Abel Zambrano por todos sus consejos acertados, por la paciencia al impartir sus conocimientos y por la pasión que tienen por enseñar.

A toda la coordinación de carrera, a mi tutora Carmita Jiménez, y a los técnicos responsables del laboratorio de la facultad, gracias por toda la valiosa información que me brindaron, ya sin ella no hubiera podido culminar este trabajo de titulación. Gracias a todos mis amigos que me apoyaron en cada paso y a las personas que pusieron su granito de arena en mi vida.

RESUMEN

La presente investigación tuvo como finalidad aprovechar el hormigón reciclado proveniente de cilindros ensayados en el laboratorio de ensayo de materiales y suelo; como reemplazo parcial del agregado grueso en mezclas de hormigón destinadas al bacheo de vías con un diseño de resistencia a la compresión de 280 kg/cm². Para ello, se recolectaron y trituraron probetas de hormigón previamente ensayadas, obteniendo el agregado reciclado que posteriormente fue caracterizado mediante pruebas físicas y mecánicas. Con este material se diseñaron mezclas de hormigón que incluyeron la sustitución de agregado natural, elaborando nuevas probetas para ensayos de resistencia a la compresión. Los resultados demostraron que las mezclas con agregado reciclado alcanzaron la resistencia de diseño establecida, validando su uso en aplicaciones viales. De esta manera, se comprobó la viabilidad técnica y ambiental del hormigón reciclado de construcción y al aprovechamiento responsable de los recursos naturales.

Palabras claves: Triturado, hormigón, agregados, resistencia.

ABSTRACT

The present research aimed to utilize recycled concrete obtained from laboratory-tested cylinders as a partial replacement for coarse aggregate in concrete mixtures intended for road patching, with a compressive strength design of 280 kg/cm². For this purpose, previously tested concrete specimens were collected and crushed to obtain recycled aggregate, which was subsequently characterized through physical and mechanical tests. Using this material, concrete mixtures were designed incorporating partial substitution of natural aggregate, and new specimens were molded for compressive strength testing. The results showed that the mixtures with recycled aggregate achieved the specified design strength, validating their use in road applications. This demonstrates the technical and environmental feasibility of recycled concrete, contributing to the reduction of construction waste and the responsible use of natural resources.

Keywords: Crushing, recycled concrete, coarse aggregate, compressive strength.

**APROVECHAMIENTO DEL HORMIGÓN RECICLADO PARA
REEMPLAZO DE AGREGADO GRUESO A BASE DE CILINDROS
ENSAYADOS EN EL LABORATORIO CON UN DISEÑO DE 280
KG/CM² PARA BACHEO DE VÍAS.**

INDICE

CERTIFICACIÓN.....	2
DEDICATORIA.....	3
AGRADECIMIENTOS.	4
RESUMEN	5
ABSTRACT	6
INTRODUCCIÓN.....	19
CAPITULO I	20
1 GENERALIDADES	20
1.1 Antecedentes de la investigación.....	20
1.2 Planteamiento del problema	22
1.3 Justificación.....	23
2 OBJETIVOS:.....	24
2.1 Objetivo General:	24
2.2 Objetivos Específicos:	24
3 HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN	24
4 METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN.....	25
4.1 Obtención de probetas ensayadas:.....	25
4.2 Procesamiento del material reciclado:	25

4.3	Caracterización del material reciclado:.....	25
4.4	Diseño de mezclas de hormigón:	25
4.5	Moldeo y curado de probetas.....	25
4.6	Ensayos de resistencia a la compresión:.....	26
4.7	Análisis y Comparación de resultados	26
4.7.1	Selección de agregados.....	26
CAPITULO II:		27
MARCO TEORICO.....		27
5	El hormigón y sus componentes.....	27
5.1	AGREGADO GRUESO: CARACTERÍSTICAS, FUNCIONES Y TIPOS.....	28
5.1.1	Características del agregado grueso	28
5.1.2	Funciones del Agregado grueso.....	28
5.1.3	Tipos de agregado grueso.....	29
5.2	DISEÑO DE MEZCLA DE 280 KG/CM ² : CONSIDERACIONES TÉCNICAS.....	29
5.2.1	Normativa ecuatoriana relevante	29
5.2.2	Consideraciones técnicas para la mezcla 280 kg/cm ²	30
5.3	HORMIGÓN RECICLADO.....	32
5.3.1	Áridos Reciclados	32
5.3.2	Propiedades tanto físicas como mecánicas del hormigón reciclado	33

5.4	FACTORES QUE AFECTAN SU DESEMPEÑO	35
5.5	Calidad del agregado reciclado	35
5.5.1	Tipos de agregados	35
5.6	COMPARACIÓN CON AGREGADO GRUESO NATURAL.....	36
5.6.1	Origen y composición	36
5.6.2	Propiedades físicas (según NTE INEN 872 y NEC).....	36
5.6.3	Implicaciones en el diseño de mezcla.....	37
5.6.4	Sostenibilidad y residuos de laboratorio	37
5.7	ENSAYOS DE CILINDROS REUTILIZADOS DE HORMIGÓN EN EL LABORATORIO 37	
5.7.1	Fundamento técnico y normativo.....	38
5.8	VENTAJAS DE REUTILIZAR CILINDROS ENSAYADOS.....	38
5.8.1	PROCESO DE REUTILIZACIÓN	38
5.8.2	Ensayos destructivos de compresión: Proceso y descarte	40
5.8.3	Diseño de mezcla adaptado.....	40
5.9	APLICACIONES DEL HORMIGÓN PERMITIDAS EN ECUADOR	40
5.9.1	Usos comunes del hormigón reciclado.....	41
5.9.2	Casos de éxito en bacheo o infraestructura vial.....	41
5.10	LIMITACIONES TÉCNICAS Y NORMATIVAS.....	42
5.10.1	REGLAMENTOS Y NORMATIVAS TÉCNICOS.....	43

5.11	BACHEO DE VÍAS	45
5.11.1	Tipos de bacheo	45
5.11.2	Criterios de desempeño.....	47
5.12	INVESTIGACIONES PREVIAS (ANTECEDENTES).....	48
5.12.1	Uso del árido reciclado obtenido del hormigón	48
5.12.2	Tesis o artículos similares.....	49
5.12.3	Resultados obtenidos en estudios con hormigón reciclado	50
5.12.4	Comparaciones de porcentajes de reemplazo y sus efectos	51
5.13	SUSTENTO TEÓRICO DEL DISEÑO EXPERIMENTAL	52
5.13.1	Justificación del porcentaje de reemplazo que analizarás.....	52
5.13.2	Teorías sobre el comportamiento mecánico del hormigón reciclado	53
5.13.3	Fundamento para la elección del diseño de 280 kg/cm ²	54
CAPITULO III: METODOLOGIA EXPERIMENTAL Y ENSAYOS		55
6	ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DEL AGREGADO FINO Y GRUESO RECICLADO	55
6.1	Generalidades:	55
6.2	Módulo de finura de la arena y grava.	56
7	CONTENIDO DE HUMEDAD.....	60
7.1	Generalidades.	60

7.2	ENSAYOS DE ABSORCIÓN, GRAVEDAD ESPECÍFICA Y PESO UNITARIO DE LOS AGREGADOS UTILIZADOS EN LA MEZCLA DE HORMIGÓN:	62
7.2.1	Gravedad y peso específicos de agregado fino	62
7.3	PESOS VOLUMETRICOS SUELTOS Y COMPACTADOS	68
7.3.1	El peso unitario suelto y compactado de agregados fino y grueso:.....	68
7.3.2	Peso unitario suelto:.....	68
7.3.3	Peso unitario compactado:.....	69
7.3.4	Ensayo de peso específico del cemento.....	71
7.4	DOSIFICACIÓN DE MATERIALES POR METRO CÚBICO DE HORMIGÓN MEDIANTE EL MÉTODO DE DISEÑO ACI.	73
7.4.1	Determinación de la resistencia promedio requerida.....	73
7.4.2	Elección del diámetro máximo nominal del agregado.	73
7.4.3	Elección del asentamiento	74
7.4.4	Volumen unitario de agua.....	74
7.4.5	Contenido de aire.	75
7.4.6	Relación agua / cemento.	76
7.4.7	Factor cemento.....	76
	Cantidad de agregado grueso.	77
7.4.8	Cálculo de agregado fino.	78

7.4.9	Valores de diseño de mezcla	79
7.4.10	Aporte de humedades de agregados:.....	80
7.4.11	Propiedades de los materiales de acuerdo con su peso.....	80
7.5	Cálculo de cantidades de material para 6 cilindros de hormigón (10 cm diámetro x 20 cm de altura).....	81
7.5.1	Determinación del volumen de cada muestra.....	81
7.5.2	Elaboración y curado de los especímenes cilíndricos de hormigón	82
7.6	Producción del hormigón.....	82
7.7	Elaboración de los cilíndricos de hormigón.	85
7.7.1	Curado de los especímenes	86
7.8	Ensayo a las probetas cilíndricas a la compresión	87
CAPITULO IV: RESULTADOS Y CONCLUSIONES		90
7.9	Valores de resistencia a la compresión a los 3 días	90
7.10	Resistencia a los 7 días.....	91
7.11	Resistencia a la compresión a los 28 días	92
8	Conclusiones	93
9	Recomendaciones.....	95
10	REferencias Bibliograficas.	96
11	Anexos.....	101

Índice de figuras

Figura 1. Materia prima de probetas ensayadas.....	57
Figura 2. Triturado y demolición manual de cilindros de hormigón	57
Figura 3. Determinación de los diámetros y tamaño nominal del agregado.....	57
Figura 4. Agregado Grueso reciclado.	58
Figura 5. Ensayo Granulométrico de agregados.....	59
Figura 6. Ensayo de gravedad específica de la arena.	65
Figura 7. Ensayo de peso específico agregado grueso reciclado.....	67
Figura 8. Muestra sumergida en la seta.....	67
Figura 9. Peso de la muestra en el aire.	68
Figura 10. Ensayo de peso unitario del agregado.	71
Figura 11. Ensayo del peso específico del cemento.....	72
Figura 12. Peso de cantidad dosificada de cemento	82
Figura 13. Mezclado de materiales en concreteira.....	84
Figura 14. Lavado de nuestro material reciclado.....	84
Figura 15. Comprobación de la consistencia del hormigón.....	85
Figura 16. Llenado de los moldes.....	86
Figura 17. Enrasado de cara superior de especímenes.....	86
Figura 18. Inmersión de especímenes para curado.....	87
Figura 19. Ensayo de resistencia a compresión.	88
Figura 20. Manipulación de la prensa.....	89
Figura 21. Ensayo de su resistencia a la compresión en sus 3 días.	90

Figura 22. Ensayo de su resistencia a los 7 días.	91
Figura 23. Ensayo de su resistencia a los 28 días.	92

Índice de Tablas

Tabla 1. Propiedades físicas de agregado reciclado NTN INEN 872 Y NEC.....	36
Tabla 2. Requisitos del material para bacheo.	47
Tabla 3. Resultados de investigaciones sobre hormigón reciclado.....	50
Tabla 4. Agregado Grueso (reciclado).	58
Tabla 5. Agregado Fino (arena de banco).	59
Tabla 6. Datos del Contenido de humedad del agregado grueso reciclado.....	60
Tabla 7. Datos del Contenido de humedad del agregado grueso fino (arena de banco). ..	61
Tabla 8. Datos del Contenido de humedad del agregado grueso fino (arena homogenizada).....	61
Tabla 9. Datos del agregado fino (arena de banco).....	69
Tabla 10. Datos del agregado fino (arena homogenizada).....	69
Tabla 11. Datos del agregado grueso reciclado.....	70
Tabla 12. Resistencia promedio a la compresión requerida en ausencia de datos para la desviación estándar.	73
Tabla 13. Determinación de la consistencia a partir del asentamiento.	74
Tabla 14. Revenimiento "r" recomendado para cada tipo de construcción.....	74
Tabla 15. Requerimientos aproximados de agua de mezcla y contenido de aire según el asentamiento y tamaño máximo de agregados.....	75

Tabla 16. Contenido de aire atrapado en función al tamaño máximo nominal de contenido de aire para distintos tamaños de agregados.	75
Tabla 17. Correspondencia entre la relación agua/cemento y la resistencia.	76
Tabla 18. Volumen de agregado grueso por unidad de volumen de hormigón en función del tamaño máximo del agregado y el módulo de finura.....	77
Tabla 19. Proporciones de mezcla para materiales	80
Tabla 20. Tabla de resultados de la resistencia a la compresión a los 3 días en los cilindros.....	90
Tabla 21. Resultados de la resistencia a la compresión a los 7 días.....	91
Tabla 22. Valores de resistencia a la compresión a los 28 días.	92

Índice de Ecuaciones

(1) Fórmula empleada de gravedad específica.....	63
(2) Peso específico de agregado fino (arena de banco).....	64
(3) Porcentaje de absorción.....	64
(4) Fórmula empleada para cálculo de absorción	64
(5) Densidad relativa.....	65
(6) Densidad relativa aparente	66
(7) Densidad saturado superficialmente seco	66
(8) Porcentaje de absorción.....	66
(9) Peso unitario suelto agregado fino	69
(10) Peso unitario compactado agregado fino	69
(11) Peso unitario suelto agregado fino	69
(12) Peso unitario compactado agregado fino	70
(13) Peso unitario suelto agregado fino	70
(14) Peso unitario compactado agregado fino	70
(15) Peso específico	72
(16) $f'_{cr} = f'_c + 8.5$	73
(17) Factor cemento	76
(18) Volumen de cemento	77
(19) Volumen de agua	78
(20) Volumen de aire.....	78
(21) Agregado grueso.....	78
(22) Peso húmedo de agregado fino.....	79

(23) <i>Humedad SA</i>	79
(24) Aporte de humedades de agregados	80
(25) Volumen.....	81
(26) Área	81
(27) Resistencia a compresión	88

INTRODUCCIÓN

En la actualidad, la industria de la construcción se encuentra entre las principales responsables de la generación de residuos a nivel global. Este trabajo de investigación abordará las oportunidades y beneficios que ofrece la reutilización y el reciclaje del hormigón. Se examinará cómo se puede reincorporar el hormigón en nuevos proyectos y cómo su reciclaje puede contribuir a reducir la cantidad de desechos producidos y a minimizar el impacto ambiental de la construcción.

Las vías de comunicación terrestre parecen pasar por un ciclo continuo de construcción inadecuado, todo eso debido a la mala planificación y ejecución de la infraestructura vial, son tantas las causas que influyen en aquella negligencia, y una de ellas es la falta de mantenimiento a lo largo de los años, lo que ha conllevado a su deterioro. Por ello, con el fin de restablecer condiciones adecuadas para el tránsito y afrontar el reto de los costos elevados y la limitación de la disponibilidad de agregados, es necesario implementar métodos para recuperar caminos que favorezcan a una mayor durabilidad en las vías. En este contexto, en el proyecto se estudia alternativas de mantenimiento para disminuir los gastos asociados a la reconstrucción, mano de obra y equipos especializados. Para esto, la opción que se plantea consiste en reutilizar los cilindros obtenidos en el laboratorio de ensayo de materiales de la Facultad de Ingeniería, Industria y Arquitectura combinándolos con diferentes insumos para su reciclaje.

El reciclaje y la reutilización que se pretende abordar en el presente trabajo se fundamenta en el uso de los cilindros de hormigón que se utilizan para comprobar la resistencia a la compresión, estos son triturados y adicionados a otros conglomerados para mejorar sus características y propiedades.

CAPITULO I

1 GENERALIDADES

1.1 Antecedentes de la investigación

Dentro de las últimas cinco décadas, la ingeniería civil ha registrado una expansión significativa, especialmente dentro de la red vial, esto impulsado por el incremento de las demandas de transporte y el desarrollo socioeconómico. Por ello, a nivel mundial se han construido extensas redes de carreteras para atender el aumento constante del tráfico vehicular. Sin embargo, muchas de estas vías llevan más de veinte años en funcionamiento, superando el periodo para el cual fueron diseñadas. Además, el incremento en el peso promedio de los vehículos, las mayores cargas por eje y el envejecimiento de los materiales han acelerado su deterioro. Esta situación ha generado la necesidad de implementar nuevas estrategias que aseguren condiciones adecuadas de servicio. Así surgió la técnica del reciclaje de pavimentos asfálticos como una alternativa eficaz para la rehabilitación de estas infraestructuras.

Dentro de los principios fundamentales del reciclaje, afirma que los materiales como plásticos, papel, vidrio y desechos orgánicos deben ser seleccionados de una manera diferenciada y depositados en los recipientes especificados para cada residuo. Sin embargo, en la actualidad, el número de materiales considerados reciclables ha incrementado de manera significativa cada año, incorporando nuevos tipos de residuos que requieren procesos de gestión diferenciados. En la actualidad, existen diversos artículos domésticos como cepillos dentales, lámparas fluorescentes y guirnaldas luminosas que incluyen dentro de la gama de productos reciclables, esta, es una práctica que se expande a múltiples sectores industriales, de la misma manera, en el ámbito de la construcción, las innovaciones más recientes y decreciente interés es la reutilización del hormigón utilizando procesos de reciclaje.

Los residuos procedentes de la construcción, demolición y excavación (CDEW en *Inglés*) son temas de interés crecientes dentro del sector constructivo. En este contexto, en Europa los desechos representan más de un tercio total de los residuos generados, en el Reino Unido se estima producción de alrededor de 120 millones de toneladas, por ello, los materiales implementados en la industria de la construcción están siendo reincorporado mediante técnicas de reciclaje. En este marco, el hormigón reciclado se refiere al hormigón proveniente de estructuras demolidas para utilizarlo en nuevas obras o en proceso de rehabilitación. (Gherardi, 2023)

Durante la década de 1950, Ecuador inició esfuerzos para mejorar su infraestructura vial, incluyendo la pavimentación de carreteras. En 1954 se estableció la Junta Nacional de Planificación, organismo que dio prioridad al desarrollo de una red nacional de carreteras. Aunque no se dispone de información detallada sobre los objetivos específicos de estos primeros proyectos, se considera que la pavimentación desempeño un papel relevante. En esa época, los pavimentos más comunes en el país eran de asfalto, sin embargo, en ciudades como Guayaquil, las principales vías estaban construidas con hormigón de cemento hidráulico. (Caspá, 2025)

1.2 Planteamiento del problema

En Ecuador, muchas carreteras han superado su vida útil o se han deteriorado debido a factores como el uso de materiales de baja calidad, drenajes inadecuados y datos de tráfico erróneos, lo que resulta en altos costos de reparación a corto plazo. Por otra parte, en la actualidad los laboratorios de ensayo de materiales generan grandes cantidades de cilindros de hormigón desechados tras la prueba de compresión. Paralelamente el uso de agregados en la construcción genera un alto impacto ambiental, y frente a esta problemática, surge la necesidad de aprovechar el hormigón reciclado como sustituto parcial del agregado grueso, evaluando si su empleo garantiza la resistencia estructural requerida en mezclas de 280 kg/cm^2 destinadas al bacheo de vías.

1.3 Justificación

Dado que la disponibilidad de materiales cerca de los lugares de construcción es limitada y la gestión de los residuos es un desafío, en este trabajo es fundamental optimizar el uso de agregados, aglomerantes, equipos, mano de obra y en general recursos económicos. En el presente trabajo de investigación, se muestra una solución efectiva para los problemas de transporte mencionados, lo cual, es la reutilización o el reciclaje de hormigones existentes, en la construcción, reparación y mantenimiento de carreteras.

Para rehabilitar un pavimento asfáltico mediante el reciclaje, es necesario realizar un análisis previo de los materiales que tenemos para determinar su viabilidad de recuperación y su posterior procesamiento de nuevas mezclas de hormigón. Es importante conocer que estas mezclas deben cumplir con especificaciones técnicas para evitar daños prematuros en las vías.

En el país, el reciclaje presenta un creciente interés, sin embargo, con frecuencia se carece de material bibliográfico completo que ofrezca información teórica aplicable a estudios previos, así como al diseño y ejecución de proyectos viales. Por lo tanto, es imprescindible desarrollar una investigación que permita conocer las estrategias y los beneficios del aprovechamiento del hormigón reciclado, para luego así, obtener la máxima utilidad de este agregado en el avance y desarrollo técnico de las obras de ingeniería en el país.

2 OBJETIVOS:

2.1 Objetivo General:

Aprovechar el hormigón reciclado proveniente de cilindros ensayados en el laboratorio como reemplazo del agregado grueso en mezclas de hormigón destinadas al bacheo de vías, garantizando que alcancen una resistencia diseño de 280 kg/cm^2 .

2.2 Objetivos Específicos:

- Obtener el agregado reciclado mediante el triturado de los cilindros de hormigón ensayados en el laboratorio.
- Caracterizar las propiedades físicas y mecánicas que nos proporcionan el agregado reciclado obtenido.
- Diseñar mezclas de hormigón con la sustitución del agregado grueso reciclado.
- Realizar ensayos de resistencia a la compresión en cilindros de hormigón para verificar que las mezclas con agregado reciclado alcancen los 280 kg/cm^2 .
- Analizar la influencia de los aditivos que contribuyen con la adherencia entre el material existente y el reciclado.
- Generar recomendaciones técnicas para la aplicación del hormigón en procesos de bacheo de vías.

3 HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN

El aprovechamiento del hormigón reciclado proveniente de cilindros ensayados en laboratorio puede utilizarse como reemplazo parcial del agregado grueso en mezclas de 280 kg/cm^2 , alcanzando resistencias equivalentes a las obtenidas con agregados naturales y constituyendo una alternativa técnica y ambiental sostenible para el bacheo de vías.

4 METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

Para el desarrollo del presente trabajo investigativo, se utilizará un enfoque experimental y aplicado, la siguiente metodología que será dividida en las siguientes etapas:

4.1 Obtención de probetas ensayadas:

Se recolectarán cilindros de hormigón previamente sometidos a ensayos de resistencia a la compresión en el laboratorio de materiales.

4.2 Procesamiento del material reciclado:

Los cilindros se van a triturar manualmente para obtener el agregado reciclado, el cual se sometió a procesos de clasificación y cribado, con el fin de separar las fracciones correspondiente al agregado grueso.

4.3 Caracterización del material reciclado:

Se determinará las propiedades físicas y mecánicas del agregado grueso; tales como pesos unitarios, absorción, granulometría y densidad.

4.4 Diseño de mezclas de hormigón:

Para el diseño experimental se elaborarán diversas muestras de hormigón a base de cilindros ensayados en el laboratorio. Como parte del estudio, se sustituirá el agregado grueso convencional por material triturado proveniente de las probetas ensayadas. Posteriormente, las probetas serán sometidas a ensayo de compresión con el objetivo de determinar su resistencia y evaluar sus variaciones en las propiedades mecánicas derivadas del uso de este material reciclado.

4.5 Moldeo y curado de probetas.

Se van a fabricar cilindros de hormigón a partir de las mezclas diseñadas, siguiendo el

procedimiento estandarizado para su posterior ensayo.

4.6 Ensayos de resistencia a la compresión:

Se aplicará pruebas de compresión a las probetas moldeadas, con el fin de comprobar que las mezclas con agregado reciclado alcancen la resistencia de diseño de 280 kg/cm².

4.7 Análisis y Comparación de resultados

Se procederá a comparar los valores de resistencia obtenidos con los de referencia, evaluando la viabilidad técnica del empleo del agregado reciclado en el bacheo de vías.

4.7.1 Selección de agregados

Además de la materia prima, que será el agregado grueso reciclado. Se procederá a obtener el agregado fino de una cantera local, para luego clasificarlos y asegurar de que ambos agregados tanto finos como gruesos, cumplan con las normas requeridas necesarias.

CAPITULO II:

MARCO TEORICO

5 EL HORMIGÓN Y SUS COMPONENTES

El hormigón es un material de construcción hecho a base de cemento, arena y gravas o piedras, y es uno de los más utilizados en obras de arquitectura e ingeniería a nivel mundial. Una de sus principales características es su alta maleabilidad, gran consistencia, bajo coste y rápido secado. (Ferrovia, 2025)

Antes de profundizar con el análisis de las propiedades del hormigón, es necesario comprender su elaboración, ya que, este determina en gran medida su desempeño estructural, para esto, el hormigón se obtiene de la combinación de cemento, agua, arena y grava mediante diferentes dosificaciones calculadas, donde el cemento cumple la función de unir los demás componentes. Durante el fraguado y endurecimiento del material, la mezcla se transforma en una masa sólida capaz de soportar cargas y resistir distintas condiciones ambientales. Por esto, se considera uno de los materiales más resistentes y versátiles para el uso de la construcción y el correcto control de sus proporciones, junto con su adecuada colocación y curado, optimizando su durabilidad y resistencia estructural. ("La casa de hormigón", 2024)

El hormigón también es una solución excepcional para la construcción de carreteras y autopistas, siendo un material muy utilizado en países como México y Estados Unidos. Su principal ventaja frente al asfalto es la durabilidad del firme en buen estado, lo que aumenta el ciclo de vida y reduce las necesidades de mantenimiento durante todo el período, además de aumentar la seguridad y tener menos costes de iluminación.

Las carreteras y autopistas de hormigón ofrecen también importantes ventajas para los usuarios de las mismas, como una mayor visibilidad y claridad, menos concentración de calor,

menos desgaste de ruedas e incluso menor gasto en combustible. (Cemex, 2025)

5.1 AGREGADO GRUESO: CARACTERÍSTICAS, FUNCIONES Y TIPOS

El agregado grueso es uno de los componentes fundamentales del hormigón, representando entre el 60% y 75% de su volumen total. Su presencia influye directamente en la resistencia mecánica, durabilidad, trabajabilidad y comportamiento estructural del hormigón. (Brooks & Neville, 2013)

5.1.1 Características del agregado grueso

Los agregados deben estar constituidos por partículas:

- Duras y resistentes.
- Integras, fuertes y estables frente a la acción del congelamiento y los agentes atmosféricos.
- Limpias y libres de impurezas como materias orgánicas, finos nocivos, partículas livianas o frágiles y contaminantes.
- De buena forma (ni planas, ni elongadas).
- Bien gradadas en tamaño. (Holcim Ecuador S.A, s.f.)

5.1.2 Funciones del Agregado grueso

El agregado grueso en el hormigón cumple con funciones importantes, tales como: aportar resistencia, reducir el consumo de cemento, reduce la retracción, y facilita la trabajabilidad del hormigón.

Dentro de los agregados tanto gruesos (gravas) y finos (arenas) tienen funciones primordiales en la fabricación del hormigón y contribuir de manera significativa a la resistencia final de la mezcla. Dado que estos elementos constituyen el 65 y el 85% del volumen total del

hormigón, es fundamental conocer sus propiedades físicas y mecánicas para seleccionar de una manera más óptima aquellos de mejor calidad asegurando su desempeño óptimo dentro de la obra. (360Enconcreto.com, s.f.)

5.1.3 Tipos de agregado grueso

Estos se clasifican por su origen:

- ✓ **Agregados naturales:** provienen de depósitos naturales como gravas de ríos o canteras. Son los más utilizados en la construcción convencional.
- ✓ **Agregados triturados:** obtenidos de la trituración de rocas; poseen mayor angularidad y rugosidad.
- ✓ **Agregados reciclados:** procedentes de residuos de hormigón, como en el caso de cilindros ensayados o escombros. Su uso ha ido en aumento debido a la necesidad de sostenibilidad. (Fang, Zhang, & Xiao, 2019)

5.2 DISEÑO DE MEZCLA DE 280 KG/CM²: CONSIDERACIONES TÉCNICAS.

El diseño de mezcla para hormigón con una resistencia característica de 280 kg/cm² (27.5 MPa) requiere una planificación muy técnica, en la cual se garantice el cumplimiento de propiedades mecánicas, durabilidad, trabajabilidad y sostenibilidad de las mezclas. En Ecuador, se aplica lo establecido por las Normas Técnicas Ecuatorianas NTE INEN 1855, ésta se basa en el diseño de las mezclas para hormigón hidráulico, basada en el método ACI, en la cual se toman en consideración el tipo de cemento, la relación agua/cemento, el diámetro nominal máximo del agregado y por ende la resistencia requerida.

5.2.1 Normativa ecuatoriana relevante

- ✓ **NTE INEN 1571:** Hormigón. Ensayo de compresión de cilindros de hormigón

hidráulico.

- ✓ **NTE INEN 1855:** Hormigón hidráulico. Método para el diseño de mezclas por el método del ACI.
- ✓ La **NEC SE-HORMIGÓN (2021)** establece que “el diseñador deberá considerar una resistencia media superior a la resistencia especificada para garantizar la calidad del hormigón en función de la variabilidad de los materiales y del proceso de producción”. (MIDUVI, p.3)
- ✓ Ecuador también toma como referencia normas **ACI y ASTM**.

5.2.2 Consideraciones técnicas para la mezcla 280 kg/cm²

5.2.2.1 Resistencia Característica y promedio.

La resistencia característica de 280 kg/cm² requiere que la resistencia promedio de diseño sea mayor, considerando la desviación estándar. Según la NEC, “se debe aplicar un margen de seguridad basado en la desviación estándar histórica de la planta productora” (MIDUVI, 2021, p.21).

5.2.2.2 Relación agua/cemento (a/c)

Una relación agua/cemento adecuado para esta resistencia suele estar entre **0.50 y 0.55**. La **INEN 1855 (2012)** señala que “la resistencia del hormigón es inversamente proporcional a la relación agua/cemento; por tanto, su control es esencial para lograr la resistencia deseada” (MIDUVI, p.3)

5.2.2.3 Contenido de cemento

Para alcanzar una resistencia de 280 kg/cm², se recomienda un contenido de cemento entre **300 y 320 kg/m³**, ajustado según los agregados disponibles. “El contenido mínimo de cemento dependerá de la exposición ambiental y de los requisitos estructurales” (MIDUVI, 2021, p.25)

5.2.2.4 Selección de agregados

Los agregados utilizados deben cumplir con los criterios de la NTE INEN 872 (2013), que indica que “los agregados deben estar limpios, libres de impurezas orgánicas y tener propiedades físicas dentro de los límites establecidos para garantizar la resistencia y durabilidad del hormigón” (MIDUVI, 2021, p.2).

Respecto al uso de agregados reciclados, la NEC SE-HORMIGÓN (2021) permite su incorporación: “se podrán usar agregados reciclados en elementos no estructurales o de baja sollicitación, siempre que cumplan con los requisitos de calidad y durabilidad establecidos en la normativa vigente” (MIDUVI, 2021, p.37).

5.2.2.5 Trabajabilidad y revenimiento

Para labores como el bacheo de vías, se recomienda un revenimiento entre 5 y 10 cm, según condiciones de obra. La INEN 1855 (2012) menciona que “la trabajabilidad adecuada del hormigón es esencial para su correcta colocación sin segregación” (p.4).

5.2.2.6 Durabilidad y condiciones ambientales

La NEC exige que “las mezclas se diseñen teniendo en cuenta las condiciones de exposición ambiental, como humedad, ciclos de congelación y agentes químicos, determinando así el contenido mínimo de cemento y relación a/c máxima” (MIDUVI, 2021, p.27).

5.3 HORMIGÓN RECICLADO

El hormigón reciclado, también conocido como agregado de hormigón reciclado (RCA), se obtiene al triturar y clasificar los residuos de hormigón, eliminando los materiales no deseados como la suciedad y el acero. Este agregado reciclado puede utilizarse como base para la fabricación de nuevos productos de hormigón, como bloques, adoquines y tuberías.

Otra forma de reutilizar el hormigón es utilizarlo como material de relleno en la construcción de carreteras o como barreras de contención. El hormigón reciclado puede proporcionar una base estable y resistente, reduciendo así la necesidad de utilizar nuevos materiales y minimizando el impacto ambiental de la construcción de infraestructuras. (Tensolite, 2025)

5.3.1 Áridos Reciclados

En términos generales, se entiende por árido reciclado (AR) al material proveniente del procesamiento de residuos inorgánicos que proviene de la construcción. El origen de estos viene de desechos pétreos generados por actividades de construcción y demolición. Estos desechos de hormigón con cemento Portland y áridos naturales son triturados, tamizados y tratados en plantas de reciclaje para producir el árido reciclado de hormigón. De la misma manera, este tipo de áridos se obtiene a partir de un único material, la cual, no puede considerarse homogéneo ya que su composición depende a gran medida del mortero adherido a los residuos. Adicionalmente, se debe considerar la presencia de subcomponentes, que deben ser aceptables hasta ciertos límites siempre que sean de origen pétreo (CEDEX, 2010)

Dentro de los materiales obtenidos, no todos deben ser considerados como residuos, ya que, varios de estos poseen potencial para utilizarlos en la elaboración de materiales reciclados. Los áridos reciclados provienen de los residuos de construcción y demolición, y a través de un

proceso de reciclaje que los revaloriza, se transforman en materia prima. Estos áridos pueden utilizarse de diversas maneras, como en bases de carreteras, rellenos de zanjas y caminos rurales, entre otros (ITeC, 2021)

Al finalizar la vida útil del hormigón, esta puede reciclarse mediante un proceso que consiste en fragmentarlo y eliminar los materiales no deseados como la suciedad, acero y triturar los restos que no llegan a alcanzar las especificaciones requeridas, de la misma manera, este procedimiento pueden utilizarse tanto en canteras como directamente en el sitio de demolición para que este material se determine como agregado de hormigón reciclado (RCA en inglés) y puede emplearse como base para la producción de un nuevo hormigón (Ventures, 2023).

5.3.2 Propiedades tanto físicas como mecánicas del hormigón reciclado

El hormigón reciclado, aunque presenta ciertas diferencias en sus propiedades físicas y mecánicas en comparación con el hormigón convencional, se afirma que es un material viable para aplicarlas en las construcciones, generalmente, esta muestra propiedades resistentes a la compresión inferior, pero, esta no es adecuada para elementos estructurales y no estructurales (Pérez, 2018). Del mismo modo, dentro de las propiedades físicas se destacan:

5.3.2.1 Forma de partícula y textura

El hormigón reciclado presenta partículas angulares y una superficie áspera, mientras que los agregados naturales son más redondeados.

5.3.2.2 Capacidad de absorción

El hormigón reciclado absorbe más agua que los agregados naturales.

5.3.2.3 Gravedad específica

La gravedad específica del hormigón reciclado es menor que la de los agregados naturales.

5.3.2.4 Desgaste en la máquina Los Ángeles

El hormigón reciclado presenta un mayor desgaste en la máquina Los Ángeles que los agregados naturales (Pérez, 2018).

Mientras que entre las propiedades mecánicas del hormigón reciclado:

5.3.2.5 Resistencia a la compresión

El hormigón reciclado suele tener una resistencia a la compresión menor que el hormigón convencional, especialmente si se utiliza una alta proporción de agregado reciclado. (Researchgate.net, s.f.).

5.3.2.6 Módulo de ruptura por flexión:

El módulo de ruptura por flexión del hormigón reciclado puede no variar significativamente en comparación con el hormigón convencional (Sosa, 2017).

5.3.2.7 Peso unitario

El hormigón reciclado puede tener un peso unitario inferior al hormigón convencional. (Muñoz, 2021).

5.3.2.8 Resistencia a la tracción

Esta propiedad en el hormigón reciclado suele ser inferior a la del hormigón convencional, esto debido a la presencia de mortero adherido y a la heterogeneidad de sus partículas recicladas (Hulatt, s.f.).

5.3.2.9 Módulo de elasticidad

El módulo de elasticidad del hormigón reciclado puede ser menor que el del hormigón convencional (CUSCO, 2019).

5.4 FACTORES QUE AFECTAN SU DESEMPEÑO

El desempeño del hormigón, se define por su capacidad en cumplir con las propiedades mecánicas, durabilidad, trabajabilidad y estabilidad, así como, la manera de verse influenciado por diversos factores durante su producción, manipulación y curado. Esto es relevante cuando se utiliza agregado grueso reciclado, como en nuestro caso del aprovechamiento de cilindros ensayados en laboratorio para bacheo de vías.

Según la investigación realizada, el desempeño con agregado reciclado puede verse afectado por:

5.5 Calidad del agregado reciclado

5.5.1 Tipos de agregados

El origen y procesamiento del agregado reciclado (ej., hormigón triturado, ladrillo demolido) pueden afectar su calidad y rendimiento en el concreto.

5.5.1.1 Contenido de polvo

El polvo presente en el agregado reciclado puede afectar la trabajabilidad y la resistencia del hormigón.

5.5.1.2 Tamaño y forma

La distribución y forma de los agregados reciclados pueden afectar la compactación y la resistencia del hormigón.

5.5.1.3 Absorción de agua

El agregado reciclado puede absorber más agua que el agregado natural, lo que puede afectar la relación agua/cemento y la resistencia del hormigón (360 EN CONCRETO, 2025).

5.6 COMPARACIÓN CON AGREGADO GRUESO NATURAL

El agregado grueso representa aproximadamente el 40–50% del volumen total del hormigón y es determinante en su comportamiento mecánico y durabilidad. El uso de agregado grueso reciclado (AGR), proveniente del reaprovechamiento de elementos ensayados en laboratorio, plantea una alternativa sostenible, aunque con ciertas diferencias técnicas respecto al agregado grueso natural (AGN). Los agregados Gruesos pueden presentar un contenido de humedad y una mayor absorción de agua, por lo cual, es esencial realizar todas las pruebas necesarias en el laboratorio, cuya finalidad es determinar si tienen una buena resistencia en comparación con el agregado natural.

5.6.1 Origen y composición

Es notable que el agregado grueso natural proviene de los procesos de rocas naturales que tienen propiedades consistentes como son los granitos, y basaltos o gravas, mientras que el agregado grueso reciclado proviene de una trituración secundaria de hormigones ya endurecidos.

5.6.2 Propiedades físicas (según NTE INEN 872 y NEC)

Tabla 1. Propiedades físicas de agregado reciclado NTN INEN 872 Y NEC.

Propiedad	Agregado Natural (AGN)	Agregado Reciclado (AGR)
Densidad (gr/cm ³)	2.60 – 2.75	2.30 – 2.50 (dependiendo del mortero adherido)
Absorción (%)	≤ 2% (INEN, 2013)	5% – 8% (más poroso)
Limites granulométricos	Según INEN 872	Debe cumplir curva granulométrica similar, aunque se ajusta
Materia orgánica	Ausente o trazas (≤ 0.5%)	Puede contener trazas, debe limpiarse
Impurezas	Controladas	Requiere mayor procesamiento (lavado, cribado, etc.)

Fuente: (NTE-INEN.1885-2, 2015)

“El agregado reciclado contiene partículas de mortero adherido que reducen su densidad y

aumentan su absorción, lo que debe corregirse en el diseño de mezcla” (NTE-INEN.1885-2, 2015).

5.6.3 Implicaciones en el diseño de mezcla

- ✓ Con AGR, es obligatorio ajustar la relación agua/cemento y considerar el contenido de agua absorbida para evitar pérdidas de trabajabilidad y garantizar resistencia.
- ✓ También puede requerirse mayor contenido de cemento o uso de aditivos.
- ✓ “Para asegurar el desempeño del hormigón reciclado, se debe ajustar el diseño de mezcla, verificando propiedades mecánicas a través de ensayos de laboratorio” (NEC-SE-HORMIGÓN, 2023).

5.6.4 Sostenibilidad y residuos de laboratorio

El aprovechamiento de cilindros ensayados en laboratorio, como fuente de AGR, es viable desde el punto de vista ambiental, cumpliendo el enfoque de economía circular promovido por la NEC donde afirma que “La reutilización de materiales provenientes de estructuras de hormigón es una alternativa técnica y ambientalmente aceptable, en el marco del desarrollo sustentable” (MIDUVI-NEC, 2021).

5.7 ENSAYOS DE CILINDROS REUTILIZADOS DE HORMIGÓN EN EL LABORATORIO

En los laboratorios de suelos y ensayos de materiales de construcción, singularmente en el control y calidad de hormigón, se generan frecuentes residuos sólidos tras la realización de ensayos de compresión sobre cilindros o probetas de hormigón. Tal es el caso de las muestras que llegan a diario en la Facultad de Ingeniería, Industria y Arquitectura. Dichas muestras son desechadas, pero representan un potencial recurso reciclable ante el mundo de la sostenibilidad, lo cual se busca darle un uso especialmente para aplicaciones no estructurales como es el bacheo de vías urbanas.

5.7.1 Fundamento técnico y normativo

Según la (NEC-SE-HORMIGÓN, 2023), está permitido el uso de hormigón reciclado a partir de escombros u otros elementos previamente utilizados, siempre y cuando:

- Se garantice la calidad y limpieza del material.
- Se verifiquen sus propiedades físicas, químicas y mecánicas mediante ensayos.
- Su aplicación esté limitada a elementos no estructurales.

Se puede utilizar hormigón reciclado proveniente de demoliciones o de ensayos, siempre que cumpla con las especificaciones técnicas de agregados reciclados y no sea usado en elementos estructurales sin justificación técnica (MIDUVI-NEC, 2021).

5.8 VENTAJAS DE REUTILIZAR CILINDROS ENSAYADOS

- ✓ Se reduce los residuos sólidos generados en los laboratorios y las obras de construcción.
- ✓ Existe un ahorro económico al disminuir la necesidad de adquirir agregado grueso nuevo.
- ✓ Se disminuye el impacto ambiental promoviendo la economía circular.
- ✓ Es un material controlado, ya que, se conoce con precisión la dosificación utilizada, resistencia, edad y curado.

Además, utilizar estos residuos ofrece ventajas logísticas y técnicas utilizando cilindros ensayados y controlados frente a escombros de demolición tradicional (Achecho-Torgal, Tam, Ding, & Labrincha, 2013).

5.8.1 PROCESO DE REUTILIZACIÓN

El proceso para aprovechar cilindros de hormigón ensayados incluye:

5.8.1.1 Recolección

Solo se seleccionan cilindros probados en compresión bajo condiciones estándar.

5.8.1.2 Trituración mecánica

Se reduce el tamaño del hormigón hasta lograr una granulometría adecuada para uso como agregado grueso reciclado (AGR). Sin embargo, en esta investigación se busca romper el hormigón hasta alcanzar tamaños adecuados para uso como agregado grueso. para el presente proyecto se utilizó martillo y combo, Es preferible una trituración primaria y secundaria para lograr asegurar la forma angular y separación del mortero suelto.

5.8.1.3 Clasificación y lavado

Se elimina finos no deseados, empleando tamices para separar las fracciones mayores a 4.75 mm (agregado grueso) y menores a 4.75 mm (agregado fino). Para cumplir con la curva granulométrica especificada por la NTE INEN 872.

Con respecto al lavado; es esencial para mejorar la adherencia con la nueva pasta de cemento y se reduce el contenido de materiales perjudiciales, en este caso el polvo de mortero adherido.

5.8.1.4 Características del material reciclado proveniente de cilindros

El hormigón remanente en los cilindros ensayados presenta ciertas ventajas técnicas frente a escombros de obra o demolición, entre ellas:

- **Trazabilidad y control:** Se conoce el diseño de mezcla, tipo de cemento, relación a/c y edad.
- **Baja contaminación:** Al provenir de un ambiente de laboratorio, está libre de impurezas, tierras o contaminantes orgánicos.
- **Homogeneidad:** Al estar elaborado bajo condiciones controladas, el hormigón es

más uniforme que los residuos de demolición.

En la caracterización de este material se evalúan propiedades como densidad, absorción, granulometría, desgaste Los Ángeles y contenido de impurezas (NTE INEN 872, 2013).

5.8.2 Ensayos destructivos de compresión: Proceso y descarte

Los ensayos de compresión se realizan para determinar la resistencia del hormigón a los 7, 14 o 28 días, conforme a la norma NTE INEN 1573 (INEN, 2006). Una vez ensayados, los cilindros se convierten en residuos sólidos de hormigón, los cuales usualmente son descartados sin un aprovechamiento técnico.

“Los cilindros que han sido ensayados a compresión contienen hormigón de calidad controlada, que puede ser reutilizado bajo condiciones específicas” (MIDUVI-NEC, 2021).

Este descarte nos facilita una oportunidad para aplicar recursos de economía circular, convirtiendo el residuo en material reutilizable para nuevos usos en el campo ingenieril.

5.8.3 Diseño de mezcla adaptado

Se ajustan las proporciones de agua, cemento y aditivos considerando el comportamiento del AGR. (NTE INEN 872, 2013).

5.9 APLICACIONES DEL HORMIGÓN PERMITIDAS EN ECUADOR

El hormigón reciclado, adquirido principalmente mediante el tratamiento de residuos o componentes ensayados como cilindros de laboratorio, ha sido gradualmente integrado en diversas aplicaciones de la edificación civil, resaltando su eficacia en proyectos no estructurales y en el mantenimiento de carreteras. Su factibilidad técnica ha sido avalada por estudios y regulaciones que fomentan el reaprovechamiento de materiales como un componente de un modelo de desarrollo sustentable.

5.9.1 Usos comunes del hormigón reciclado

El hormigón reciclado se utiliza mayormente en componentes no estructurales, donde no se requiere una alta resistencia a cargas permanentes ni estructurales, conforme a lo establecido por la Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC-SE-HORMIGÓN, 2023).

Según la normativa ecuatoriana, el hormigón reciclado con agregados derivados de cilindros ensayados puede utilizarse en:

- Bacheo de vías urbanas de bajo tránsito.
- Aceras y bordillos.
- Llenos de zanjas técnicas.
- Obras temporales.
- Elementos prefabricados no estructurales (bloques, losetas, jardineras).
- El hormigón reciclado puede emplearse en componentes secundarios o no estructurales, bajo supervisión técnica, para contribuir a la sostenibilidad en la construcción (MIDUVI-NEC, 2021).

5.9.2 Casos de éxito en bacheo o infraestructura vial.

En varios países, entre ellos Ecuador, se han llevado a cabo éxitos en la utilización de hormigón reciclado para el mantenimiento de carreteras. A pesar de que su puesta en marcha aún es reciente en el país, hay proyectos piloto tanto universitarios como municipales que evidencian su eficacia:

Ejemplo internacional:

España y Chile han implementado el uso de agregados reciclados en calles secundarias, con mezclas adaptadas para garantizar durabilidad y adherencia.

Ejemplo local:

En Ecuador, estudios realizados por la Universidad Central del Ecuador (UCE) y la Escuela Politécnica Nacional (EPN) han demostrado que el agregado grueso reciclado proveniente de cilindros ensayados puede emplearse satisfactoriamente en hormigón para bacheo urbano, con resistencias de hasta 280 kg/cm² (UCE, 2020).

“La inclusión de agregado grueso reciclado en mezclas para bacheo urbano puede alcanzar resistencias mecánicas adecuadas para vías de bajo tránsito, según ensayos realizados en laboratorio”. (E.P.N., 2021)

5.10 LIMITACIONES TÉCNICAS Y NORMATIVAS

A pesar de sus ventajas, el hormigón reciclado presenta limitaciones que deben ser consideradas en su implementación:

a) Técnicas:

- Mayor absorción de agua y menor densidad en los agregados reciclados (NEC-SE-HORMIGÓN, 2023).
- Posible reducción en la trabajabilidad del hormigón fresco.
- Necesidad de ajustar el diseño de mezcla (mayor cantidad de agua o aditivos).

b) Normativas:

En Ecuador, la norma ecuatoriana de la construcción en la sección de estructuras de hormigón armado (2023) limita su uso a:

- Elementos no estructurales.
- En obras sin carga significativa excepto que se justifique mediante estudios de laboratorio.
- Deben cumplirse los parámetros de granulometría, densidad, desgaste y contenido

de impurezas establecidos en la NTE INEN 872 e INEN 857.

Los materiales reciclados solo podrán utilizarse en elementos de hormigón estructural si se justifica su desempeño mediante ensayos y bajo supervisión técnica (MIDUVI-NEC, 2021).

5.10.1 REGLAMENTOS Y NORMATIVAS TÉCNICAS

Dentro del hormigón reciclado utilizada en obras viales requiere la aplicación de procedimientos estrictos basados en regulaciones garantizando su calidad, resistencia y seguridad estructural, tanto estas normas ecuatorianas como internacionales emplean criterios técnicos y metodológicos para la producción, control de calidad y utilización asegurando los estándares necesarios para su utilización en la construcción.

5.10.1.1 Normas nacionales e internacionales

5.10.1.1.1 Hormigón reciclado

- **NEC SE HORMIGÓN (2023)**

En Ecuador, esta norma autoriza el empleo de material agregado reciclado únicamente para elementos no estructurales y que estén bajo supervisión técnica. Como también, establece que estos agregados cumplan con las especificaciones de calidad requeridas para el hormigón convencional.

“Se permite el uso de materiales reciclados en componentes secundarios siempre que se garantice su calidad mediante ensayos de laboratorio” (MIDUVI-NEC, 2021).

- **ACI 555R-01** – Removal and Reuse of Hardened Concrete

Esta guía técnica del American Concrete Institute describe métodos adecuados para la recolección, trituración y reutilización del hormigón endurecido, incluyendo el que proviene de estructuras demolidas o residuos de laboratorio.

- **NTP 400.037 (Perú)** – Concreto con agregados reciclados

Establece procedimientos para el diseño y elaboración de hormigón con reemplazo parcial de agregado grueso reciclado.

5.10.1.2 Ensayos de materiales

- **NTE INEN 1573 (Ecuador)** – Ensayo de compresión en cilindros de concreto
Determina el procedimiento para ensayar cilindros de 15×30 cm a distintas edades para evaluar resistencia.
- **NTE INEN 872** – Agregados para hormigón – requisitos físicos
Regula características como densidad, absorción, impurezas y granulometría del agregado grueso natural o reciclado.
- **ASTM C39/C39M-23** – Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens
Equivalente internacional del INEN 1573.
- **ASTM C33/C33M** – Specification for Concrete Aggregates
Especifica límites aceptables de desgaste, impurezas, densidad y granulometría de agregados reciclados.

5.10.1.3 Diseño de mezcla para pavimentos y vías

- **ACI 211.1-91 (2009)** – Práctica estándar para la selección de proporciones en hormigón normal, alta densidad y masa. Esta es una guía para diseñar mezclas de hormigón convencional, con parámetros que pueden adaptarse al uso de agregados reciclados.
- **MOP-001-FOVIAL (El Salvador)** y experiencias de diseño en Chile y Colombia:
Adaptan el diseño de mezcla con agregado reciclado para resistencias de 210–280 kg/cm², con recomendaciones sobre relaciones agua/cemento, dosificación y

trabajabilidad.

5.10.1.4 Requisitos técnicos para el bacheo de vías.

En Ecuador, aunque no existe una norma exclusiva para bacheo con hormigón reciclado, las siguientes consideraciones técnicas son exigidas:

- **Resistencia mínima recomendada:** entre 210 a 280 kg/cm² para pavimentos de bajo y mediano tránsito, según lo establecido por las normas ecuatorianas y especificaciones municipales.
- **Durabilidad:** Se exige verificación de resistencia a la compresión, permeabilidad y resistencia al desgaste superficial.
- **Tiempo de fraguado y curado:** Adaptado al tránsito proyectado y clima local. En vías urbanas, se exige mínimo 3 días de curado húmedo antes de habilitación.

“Los trabajos de bacheo deben garantizar una resistencia y durabilidad equivalente a la del pavimento existente, utilizando materiales previamente caracterizados” (Municipalidad, 2020)

5.11 BACHEO DE VÍAS

El bacheo es un método correctivo de mantenimiento vial que busca reparar áreas deterioradas del asfalto, particularmente en vías urbanas o caminos secundarios. Su eficacia se basa en la clase de intervención, la calidad del material utilizado y el cumplimiento de criterios técnicos como resistencia, adherencia y durabilidad.

5.11.1 Tipos de bacheo

Existen varios tipos de bacheo, clasificados en función de la profundidad del daño y el método de reparación:

5.11.1.1 Bacheo superficial

- Se emplea para reparar daños menores (fisuras, desprendimientos superficiales).
- Espesor de reparación: 2 a 5 cm.
- Se realiza con mortero, hormigón simple o mezclas asfálticas en frío.
- No requiere retirar toda la capa dañada.

5.11.1.2 Bacheo profundo

- Requiere retiro completo del material dañado hasta llegar a una capa firme.
- Espesor: >5 cm (puede alcanzar base o subbase).
- Se emplea hormigón premezclado o reciclado con resistencia controlada.
- Es ideal para daños estructurales o hundimientos.

5.11.1.3 Bacheo de emergencia

- Aplicación rápida y temporal.
- Se usa en zonas críticas de alto tráfico mientras se programa una reparación definitiva.
- El material puede ser hormigón de fraguado rápido o mezcla asfáltica en frío.
- “El tipo de bacheo a realizar depende de la profundidad del daño, el tránsito esperado y la disponibilidad del material” (MIDUVI-NEC, 2021)

5.11.1.4 Requisitos del material para bacheo

Los materiales utilizados en el bacheo deben cumplir ciertos requisitos para garantizar su desempeño en condiciones de carga y clima variables:

Tabla 2. Requisitos del material para bacheo.

Requisito	Descripción técnica
Resistencia mínima	210–280 kg/cm ² para tránsito liviano a medio (NEC SE-HORMIGÓN).
Consistencia	Buena trabajabilidad para facilitar su colocación y compactación.
Durabilidad	Debe resistir la abrasión y los ciclos de humedad/sequedad.
Adherencia	Alta capacidad de adherirse al hormigón o pavimento existente.
Tiempo de fraguado	Adaptado a las condiciones de tráfico y clima (ideal: <12 horas para habilitación).

Fuente: (Silva & Brito, 2014)

En el caso del hormigón reciclado se recomienda usar aditivos plastificantes y control de humedad del agregado para garantizar sus requisitos (Silva & Brito, 2014).

5.11.2 Criterios de desempeño

El material destinado para bacheo debe cumplir con tres criterios fundamentales de desempeño técnico:

5.11.2.1 Resistencia

- Debe evaluarse mediante ensayo de compresión (INEN 1573 / ASTM C39).
- Para vías urbanas y pavimentos con tránsito medio debe ser mínimo de 280 kg/cm² en los 28 días.
- Cuando se aplica agregado reciclado, esta puede aceptarse con una resistencia inferior a 210 kg/cm² siempre que se pueda garantizar la estabilidad del material escogido.

5.11.2.2 Durabilidad

- Este material debe soportar agentes climáticos, abrasión por ruedas y exposición a productos químicos como aceites.
- Se recomienda aplicar el curado adecuado para controlar la absorción de los

agregados y asegurar una dosificación óptima.

5.11.2.3 Trabajabilidad

- El hormigón debe permitir una trabajabilidad adecuada.
- La trabajabilidad debe ser evaluada con el ensayo de revenimiento (INEN 490).
- Cuando se utiliza agregado reciclado (AGR), el hormigón debe contar con un slump entre 5 a 12 cm de acuerdo con el ACI 211.1.

De la misma manera, el American Concrete Institute afirma que “un hormigón reciclado correctamente diseñado puede cumplir con los criterios de resistencia, durabilidad y trabajabilidad exigidos para reparaciones viales de bajo impacto estructural” (ACI, 2001).

5.12 INVESTIGACIONES PREVIAS (ANTECEDENTES)

5.12.1 Uso del árido reciclado obtenido del hormigón

Para el empleo de hormigón triturado como agregado para nuevos hormigones reciclados, para la utilización de bases y subbases granulares tiene su origen desde varias décadas atrás, especialmente tras la devastación numerosa producida por la Segunda Guerra Mundial. De la misma manera, la necesidad de destinar extensas áreas de escombros y la necesidad de nuevo hormigón para utilizarlo en la reconstrucción, impulsaron el interés de estudiar las propiedades de este material con el objetivo de utilizarlo como un sustituto del agregado natural en el hormigón. Por otro lado, diferentes estudios importantes de la Industria Prefabricado Hormigón (Fernandez, 2022) y es que, el caso del hormigón, especialmente en su versión prefabricada, se presentan condiciones favorables para incorporar un porcentaje de material reciclado. Sin embargo, esto debe considerarse en función del tipo de producto, sus aplicaciones, la disponibilidad de materiales y el marco reglamentario vigente.

El material obtenido (áridos) a partir de la trituración de cilindros de hormigón presenta

una mayor homogeneidad y menor presencia de contaminantes en comparación a los residuos producidas por demolición. Esto, se debe a que su procesamiento requiere el uso de equipos y tecnologías especializadas, costo asociado al transporte y la colocación de este en la misma vía que generan resultado más bajo. No obstante, el tamaño de los fragmentos por escombro puede ser muy diferente, ya que, esta depende de la técnica de demolición aplicada, por otro lado, la composición química esta alineada al tipo de árido empelado en el hormigón original, donde se considera más del 75% de su volumen correspondiente a árido y el resto por productos de hidratación del cemento (silicatos, aluminatos cálcicos e hidróxidos de calcio).

La utilización de áridos reciclados derivados de hormigón está regulada por diversas normativas en Europa, América del Norte y Asia, donde la mayoría limita su uso, especialmente en hormigones en masa y armado con una resistencia característica no superior a 40 N/mm², excluyendo su aplicación en hormigón pretensado. Lo áridos reciclados deben ser exclusivamente triturados de hormigón convencional, sin incluir los obtenidos de hormigones especiales como los de baja densidad, reforzados con fibras o con cemento aluminoso, por otro lado, en casos donde se utilicen mezclas destinadas a ambientes de alta agresividad es indispensable aplicar medidas preventivas adicionales. Por ello, de acuerdo con la mayoría de las directrices técnicas, se recomienda que el añadido de árido grueso no supere el 20% del peso total del agregado. Con esta restricción, las propiedades finales del hormigón reciclado apenas se ven afectadas en comparación con las de un hormigón convencional; sin embargo, para porcentajes superiores, es esencial realizar estudios específicos y experimentación adicional para cada aplicación. (CEDEX, 2010).

5.12.2 Tesis o artículos similares

En Ecuador y la región andina, se han desarrollado múltiples investigaciones sobre el aprovechamiento de residuos de hormigón endurecido:

- **Universidad Central del Ecuador (2020)** realizó una tesis sobre la reutilización de cilindros ensayados en laboratorio como agregado grueso reciclado (AGR) para mezclas de 210 y 280 kg/cm².

Se concluyó que el 25% de reemplazo del agregado grueso natural por reciclado mantiene la resistencia mecánica dentro de los límites aceptables para hormigón no estructural.

- En la **Escuela Politécnica Nacional (EPN)**, un estudio evaluó el uso de AGR en hormigón para bacheo urbano.

Se obtuvo una resistencia promedio de 275 kg/cm² con un 30% de reemplazo y ajustes en la relación agua/cemento (EPN, 2021).

- A nivel internacional, (Silva & Brito, 2014) analizaron en Portugal más de 30 mezclas con distintos porcentajes de reemplazo.

Determinaron que hasta un 50% de sustitución es viable para aplicaciones no estructurales, siempre que se controle la absorción del agregado reciclado.

5.12.3 Resultados obtenidos en estudios con hormigón reciclado

Los principales hallazgos en investigaciones sobre hormigón reciclado incluyen:

Tabla 3. Resultados de investigaciones sobre hormigón reciclado.

Autor	% Reemplazo AGR	Resistencia (kg/cm²)	Observaciones técnicas
UCE (2020)	25%	280	Mismo comportamiento que mezcla control
EPN (2021)	30%	275	Leve aumento en la absorción, buena trabajabilidad
Silva-Brito (2014)	50%	250	Necesario aumentar la dosificación de cemento
Gómez & López (Chile, 2019)	40%	260	Uso exitoso en bacheo de vías secundarias

Quispe et al. (Perú, 2017)	20–40%	230–280	Recomendado para elementos no estructurales
---------------------------------------	--------	---------	---

Fuente: El autor

Las investigaciones mostradas evidencian el comportamiento mecánico del hormigón reciclado, la cual, está directamente influenciado con el porcentaje de sustitución aplicado, método de trituración empleado y la adecuada gestión del contenido de humedad del agregado.

5.12.4 Comparaciones de porcentajes de reemplazo y sus efectos

5.12.4.1 Comparaciones de los diferentes porcentajes de sustitución y su impacto

Los estudios que se han analizado verifican que el desempeño del hormigón es diferente al modificar el diverso porcentaje de reemplazo del agregado grueso con material reciclado, por ello, a continuación, se presentan las conclusiones más relevantes:

0–25% de sustitución de agregado:

- Resistencia y trabajabilidad del hormigón no presentan variación significativa.
- Considerado dentro de un rango óptimo para que se apliquen en proyectos secundarios y conservación vial.
- No se necesita ajustes relevantes para el diseño de la mezcla.

30–50% de reemplazo:

- Puede provocar ligera disminución en resistencia y mayor demanda de agua.
- Se recomienda el uso de aditivos plastificantes o ajuste de la relación agua/cemento.
- Aumenta la sostenibilidad sin comprometer el desempeño funcional.

>50% de reemplazo:

- Se compromete la trabajabilidad, homogeneidad y durabilidad del hormigón.
- No recomendado salvo en aplicaciones muy específicas (rellenos, bases no

estructurales).

“El uso de agregados reciclados hasta un 30% en reemplazo del agregado grueso natural no afecta significativamente la resistencia del hormigón, siempre que se controle el contenido de humedad y la granulometría” (Silva & Brito, 2014)

5.13 SUSTENTO TEÓRICO DEL DISEÑO EXPERIMENTAL

El diseño experimental de este trabajo se basa en estándares técnicos, regulaciones y precedentes científicos que posibilitan valorar la factibilidad de utilizar hormigón reciclado obtenido de cilindros ensayados en laboratorio como sustituto parcial del agregado grueso natural. A continuación, se describen los fundamentos teóricos más relevantes de las variables establecidas.

5.13.1 Justificación del porcentaje de reemplazo que analizarás

El porcentaje de reemplazo de agregado grueso por hormigón reciclado es una de las variables más relevantes, ya que afecta directamente la resistencia, durabilidad, trabajabilidad y absorción del hormigón.

Diversos estudios han demostrado que un reemplazo entre el 20% y 40% mantiene propiedades mecánicas aceptables para aplicaciones no estructurales como el bacheo vial (Silva & Brito, 2014). Este rango permite preservar la trabajabilidad y durabilidad del hormigón sin requerir una modificación drástica en el diseño de mezcla.

En base a ello, en esta tesis se propone analizar un reemplazo del 25% y 35% del agregado grueso natural por material reciclado, ya que:

- Representa un equilibrio entre sustentabilidad y resistencia.
- Es viable para hormigones de aplicación vial que no cumplen función estructural.
- Ha mostrado buenos resultados en ensayos previos en Ecuador y la región andina.

- “El reemplazo del 25–35% de agregado grueso por reciclado es óptimo para mezclas convencionales sin afectar significativamente la resistencia a compresión” (ACI 555R-01, 2001).

5.13.2 Teorías sobre el comportamiento mecánico del hormigón reciclado

El hormigón reciclado presenta un comportamiento mecánico diferenciado debido a su composición:

- El agregado reciclado (AGR) está compuesto por partículas pétreas recubiertas por mortero endurecido residual.
- El mortero donde se ha adherido agregado reciclado tiene mayor porosidad y presenta micro fisuras, por lo que, su densidad y resistencia disminuye en comparación donde se utiliza agregados naturales (Tam, Gao, & Tam, 2005)
- El tipo de agregado puede presentar una capacidad de absorción de agua mayor, esto, puede modificar la relación agua/cemento efectivo si no se ajusta el diseño de su mezcla.
- La zona de transición interfacial (ITZ) formada entre el nuevo cemento y el agregado grueso reciclado debe ser menos resistente que la observada por el hormigón convencional.

Sin embargo, el hormigón reciclado puede mejorar su comportamiento si se aplica:

- Selección granulométrica adecuada.
- Saturación previa del agregado reciclado.
- Uso de aditivos superplastificantes.
- Ajuste en la cantidad de agua.

“El hormigón con agregados reciclados presenta una reducción moderada de resistencia,

pero es apto para aplicaciones no estructurales si se optimiza la mezcla” (Kou & Poon, 2009)

5.13.3 Fundamento para la elección del diseño de 280 kg/cm²

La elección de una resistencia de diseño de 280 kg/cm² ($f'c = 28$ MPa) responde a varios criterios técnicos y normativos:

- Es una resistencia estándar para pavimentos rígidos urbanos y bacheo de tránsito medio, según la Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC-SE-HORMIGÓN, 2023)
- Permite comparabilidad con estudios previos realizados en el país, donde se utilizó este diseño como base para evaluar materiales (EPN, 2021) (UCE, 2020)
- Ofrece un margen de seguridad adecuado frente a la reducción de resistencia esperada por el uso de AGR.
- Permite realizar ajustes en la mezcla sin comprometer el cumplimiento normativo de bacheos de hormigón.

“Para vías de tráfico medio, la resistencia mínima del hormigón debe ser de 280 kg/cm², especialmente en reparaciones con exposición al clima y desgaste superficial” (MIDUVI-NEC, 2021) (NEC-SE-HORMIGÓN, 2023).

CAPITULO III: METODOLOGIA EXPERIMENTAL Y ENSAYOS

6 ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DEL AGREGADO FINO Y GRUESO RECICLADO

6.1 Generalidades:

Este proceso consiste en separar el tamaño de las partículas, para poder así clasificar su diámetro nominal compuesto en el material, cuya finalidad es conocer si cumple o no con las especificaciones.

Equipo utilizado:

- Horno a temperatura 105°C
- Balanzas para pesar la muestra.
- Tamices estándares en la norma ASTM.
- Bandeja.

Procedimiento del ensayo:

- a) La muestra debe ser secada en el horno a una temperatura de 105 °C antes de iniciar su proceso.
- b) Se enumeran los tamices y se arman de manera descendentes según sus aberturas para al final recoger en una bandeja el material que pasa.
- c) Se coloca la muestra del material reciclado y triturado en la parte superior de la serie de los tamices.
- d) Se inicia el proceso de tamizaje, este proceso se puede realizar de manera manual o mecánicamente durante un tiempo prolongado donde se verifique es paso monolítico de todas las partículas correctamente.

6.2 Módulo de finura de la arena y grava.

Para determinar el módulo de finura se aplicó el procedimiento dictado por la norma ASTM C – 136, el cual, consiste en tamizar una muestra representativa del agregado por una serie de tamices (No. 100, No. 50, No. 30, No. 16, No. 8, No. $\frac{3}{8}$ ", $\frac{3}{4}$ ", $1\frac{1}{2}$ ", 3" y de 6"), para que, después se calcule sumando los porcentajes retenidos acumulados y el resultado dividir entre cien. (ver en la **Figura 5**).

Cálculos y resultados

- Agregados gruesos reciclados, producto de la demolición de probetas de hormigón ensayadas en el laboratorio de la facultad de Ingeniería, Industria y Arquitectura. Residuos de aproximadamente hace 2 meses, que tenían una resistencia de 280 kg/cm².
- Agregado fino (arena homogenizada) de la cantera "HOLCIM"-Chorrillo, agregado fino (arena de banco).



Figura 1. Materia prima de probetas ensayadas
Fuente: El autor



Figura 2. Triturado y demolición manual de cilindros de hormigón
Fuente: El autor



Figura 3. Determinación de los diámetros y tamaño nominal del agregado
Fuente: El autor



Figura 4. Agregado Grueso reciclado.

Fuente: El autor

Tabla 4. Agregado Grueso (reciclado).

GRANULOMETRIA					
Aberturas (mm)	Tipo de Tamiz	Peso retenido(g)	% retenido	% retenido Acumulado	% pasa
38,1	N° 1 1/2	0	0	0	100
25,4	N° 1	0	0	0	100
19,05	N° 3/4	1513	30,343	30,343	69,657
12,7	N° 1/2	1618	31,546	61,889	37,363
9,52	N° 3/8	1720	32,905	94,794	33,363
4,75	N° 4	62,6	3,352	98,146	1,876
2,36	N° 8	51,2	1,798	99,944	0,055
1,18	N° 16	0	0	100	0
0,6	N° 30	0	0	100	0
0,3	N° 50	0	0	100	0
0,15	N° 100	0	0	100	0
	Bandeja	3,6	0,055	100	0
			100		
	Total	4868,4 gramos			

Fuente: El autor

Tabla 5. Agregado Fino (arena de banco).

GRANULOMETRIA					
Diámetro de malla (mm)	Tipo de Tamiz	Peso retenida (g)	Porcentaje retenido individual	% e retenido acumulado	Porcentaje que pasa
6,52	Nº 3/8	0	0	0	100
4,75	Nº 4	0	0	0	100
2,36	Nº 10	52	2,603	2,603	97,396
1,18	Nº 16	100,3	5,022	7,6260	92,373
0,6	Nº 30	353,2	17,685	25,311	74,688
0,3	Nº 50	1073,8	53,767	79,079	20,920
0,15	Nº 100	395	19,778	98,858	1,141
	Bandeja	22,8	1,141	100	0
			100		
	Total	1997,1 gramos			

Fuente: El autor



Figura 5. Ensayo Granulométrico de agregados

Fuente: El autor

7 CONTENIDO DE HUMEDAD

7.1 Generalidades.

Este procedimiento implica someter una muestra de agregado a un proceso de secado y contrastar su masa, previo y posterior para establecer su porcentaje de humedad total.

Equipo utilizado:

- Recipiente, para introducir la muestra en el horno.
- Espátula, para permitir su revolvimiento durante el secado.
- Balanza digital, para pesar el material.
- Horno, a una temperatura de $105 \pm 5^\circ\text{C}$.

Procedimiento del ensayo.

- a) Se pesa una muestra inicial colocada en un recipiente, es importante conocer el peso del recipiente sin la muestra.
- b) Colocar la muestra sobre el recipiente de manera uniforme.
- c) Secar en el horno durante 24 horas hasta obtener peso.
- d) Comparar y sacar el peso promedio de la muestra secada y el peso inicial de la muestra.

Tabla 6. Datos del Contenido de humedad del agregado grueso reciclado.

Tara No.		1	2
Peso en gramos	Tara + suelo húmedo	gr 62,4	60,6
	Tara + suelo seco	gr 59,4	57,6
	Tara	gr 6,5	5,3
	Agua	gr 3,1	2,9
	Suelo Seco	gr 52,9	52,3
Contenido de humedad		% 5,67	5,62

Fuente: El autor

Humedad promedio de ambas muestras **5.64%**

Tabla 7. Datos del Contenido de humedad del agregado grueso fino (arena de banco).

Tara No.		P67	P34
Peso en gramos	Tara + suelo húmedo	gr 74,99	60,10
	Tara + suelo seco	gr 71,80	57,40
	Tara	gr 7,20	5,30
	Agua	gr 3,18	2,70
	Suelo Seco	gr 64,60	52,10
Contenido de humedad		% 4,95	5,85

Fuente: El autor

Humedad promedio de ambas muestras **5.40%**

Tabla 8. Datos del Contenido de humedad del agregado grueso fino (arena homogenizada).

Tara No.		P85	P33
Peso en gramos	Tara + suelo húmedo	gr 63,70	71,10
	Tara + suelo seco	gr 59,00	64,60
	Tara	gr 7,50	6,50
	Agua	gr 7,00	6,50
	Suelo Seco	gr 51,50	58,10
contenido de humedad		% 11,95	11,20

Fuente: El autor

Humedad promedio de ambas muestras **11. 57%**

7.2 ENSAYOS DE ABSORCIÓN, GRAVEDAD ESPECÍFICA Y PESO UNITARIO DE LOS AGREGADOS UTILIZADOS EN LA MEZCLA DE HORMIGÓN:

7.2.1 *Gravedad y peso específicos de agregado fino*

- Gravedad Específica. - La gravedad está definida como el peso unitario del material dividido por el peso unitario del agua destilada a 4°C.
- Gravedad Específica Aparente. - Relación entre la densidad de una sustancia y la de otra, tomada como patrón. Generalmente para sólidos y líquidos se emplea agua destilada; y, para gases, el aire o el hidrógeno.
- Gravedad Específica de masa. – Definida como la relación entre el peso en aire de un volumen agregado (incluyendo vacíos permeables e impermeables dentro de las partículas, pero excluyendo los vacíos entre ellas) y el peso en aire de un volumen igual de agua destilada sin gases medido con la temperatura especificada.
- Absorción. - El incremento de peso del agregado debido al agua en los poros del material, no incluye el agua que adquiere la superficie externa de las partículas. Se expresa como un porcentaje de peso seco.

Equipo utilizado:

- Matraz, de 1000ml.
- Balanza de precisión, límite de error $\pm 0,1\%$ del peso a determinar.
- Horno, para secado $105 \pm 5^\circ\text{C}$.
- Recipiente metálico.

Procedimiento:

La presente investigación se llevó a cabo siguiendo lo establecido en la norma ASTM D-854, siguiendo una metodología que consiste en tamizar la arena previamente secada en 24 horas

en un horno y pasada en la malla No. 4, posteriormente, se pesa una muestra de 200 gramos del material y se registran los datos iniciales (peso del matraz, temperatura del agua y peso del matraz con agua).

Tras esto, se extrae una cantidad de agua equivalente al material que se ha pesado previamente y se procede a añadir el material al matraz, exponiendo el conjunto a un baño maría hasta que la temperatura del agua exceda los 70 grados centígrados.

Después de haber eliminado el aire total de la muestra, se deja en reposo hasta que la temperatura del conjunto se alinee con la temperatura inicial. Luego, se llena el matraz con agua desairada y se pesa con precisión de 0.1 gr en la báscula. Finalmente, se lleva la lechada al horno para después obtener el último dato de peso.

Datos del ensayo y resultados obtenidos:

A: Masa de muestra secada al horno = 194,2 g

B: Masa del matraz lleno con agua = 1225,6 g

C: Masa de matraz + muestra y agua = 1348,6 g

S: Masa de la muestra saturada que se encuentra superficialmente seca = 200 g

Fórmula empleada de gravedad específica.

(1)

$$G_s = \frac{A * k}{A + B - C}$$

$$G_s = \frac{194,2 * 1}{194,2 + 1225,6 - 1348,6} = 2,7275$$

Peso específico de agregado fino (arena de banco)

G_s= gravedad específica del material

ρ_w= densidad del agua a una temperatura de 25 grados centígrados

(2)

$$Pe = Gs * pw$$

$$Pe = 2,7275 * 0,997 \text{ gr/cm}^3$$

$$Pe = 2,71 \text{ gr/cm}^3$$

Porcentaje de absorción:

(3)

$$\text{Absorción}(\%) = \frac{B - A}{A} * 100$$

$$\text{Absorción}(\%) = 2,60\%$$

Peso específico de la arena homogenizada (agregado fino)

Para calcular el porcentaje de absorción de arena homogenizada, se seca una muestra en el horno hasta alcanzar un peso estable, se anota su peso seco y posteriormente se debe sumergir en agua durante 24 horas.

Después de la inmersión, se extrae el sobrante de agua de la superficie hasta alcanzar el estado de saturación superficialmente seca para volver a pesar.

Finalmente, se calcula el porcentaje de absorción dividiendo la diferencia entre el peso saturado superficialmente seco y el peso seco, y posteriormente multiplicándolo por 100.

Datos de ensayos y resultados obtenidos

A: Masa de arena homogenizada completamente seca = 500,1 g

B: Masa de muestra en estado saturado- superficie seca = 515,3 g

Fórmula empleada para cálculo de absorción:

(4)

$$\text{Absorción}(\%) = \frac{B - A}{A} * 100$$

$$\text{Absorción}(\%) = 3,03\%$$



Figura 6. Ensayo de gravedad específica de la arena.
Fuente: El autor

Peso específico del agregado grueso

Para llevar a cabo este procedimiento, se seleccionó una muestra representativa de grava, la cual fue sometida a saturación y pesada tanto en inmersión como en aire, para que, posteriormente se seque en un horno durante 24 horas a una temperatura de 100 °C.

Datos y resultados obtenidos en el ensayo:

Masa del agregado al aire de la muestra secada al horno (A) = 2430,0 g

Masa del agregado en el aire de la muestra saturada (B) = 2575,1 g

Masa del agregado en el agua de la muestra saturada (C) = 1442 g

(5)

$$\text{Densidad relativa} = \frac{A}{B - C} \quad (6)$$

$$\text{Densidad relativa aparente} = \frac{A}{A - C} \quad (7)$$

$$\text{Densidad saturado superficialmente seco} = \frac{B}{B - C}$$

Densidad relativa = 2,144 gr/cm³

Densidad relativa aparente = 2,459 gr/cm³

Densidad saturada superficialmente seco = 2,27 gr/cm³

Porcentaje de absorción:

$$\text{Absorción}(\%) = \frac{B - A}{A} * 100 \quad (8)$$

Absorción (%) = 5,97%



Figura 7.Ensayo de peso específico agregado grueso reciclado.
Fuente: El autor



Figura 8. Muestra sumergida en la sesta.
Fuente: El autor



Figura 9. Peso de la muestra en el aire.
Fuente: El autor

7.3 PESOS VOLUMETRICOS SUELTOS Y COMPACTADOS

7.3.1 El peso unitario suelto y compactado de agregados fino y grueso:

El ensayo se llevó a cabo de acuerdo con la metodología establecida en la norma ASTM C 29, donde implica realizar un cuarteto del material a examinar, separando una muestra que represente entre el 125% y el 200% del volumen total del molde.

A continuación, la muestra se seca en el horno a una temperatura de $110\pm 5^{\circ}\text{C}$, para que, posteriormente se determine el volumen del molde midiendo su diámetro y altura mediante un calibrador vernier y finalizando con la muestra se pesa utilizando la balanza de precisión de 0,1 gramos para registrar su peso.

7.3.2 Peso unitario suelto:

Se sitúa la muestra en el molde, permitiendo que se eleve a una altura no superior a 2", se llena el molde completamente, luego se enrasa, se limpia el molde y se introduce en la báscula, esto se realiza durante 3 ocasiones, luego se calcula un peso unitario promedio.

7.3.3 *Peso unitario compactado:*

Se sitúa la muestra en el molde, ubicándola en tres niveles, y en cada uno de estos se le asignarán 25 hincadas con una barra suave de punta redondeada de 5/8", después se enraza y se procede a medir el peso. Esto se realiza también en tres ocasiones para obtener la media de los resultados.

Datos y resultados de los ensayos:

Agregado fino:

Tabla 9. Datos del agregado fino (arena de banco)

Altura recipiente:	16,7	cm
Diámetro recipiente:	15,4	cm
Volumen Recipiente:	3110,63	cm ³
Peso Molde:	8294,3	g
Peso suelo suelto + molde:	12604,1	g
Peso suelo compactado + molde:	12987,6	g

Fuente: El autor

(9)

$$\text{Peso unitario suelto agregado fino} = \frac{(\text{Peso suelo suelto} + \text{molde}) - \text{Peso molde}}{\text{Volumen molde}}$$

$$\text{Peso unitario suelto} = 1,385 \text{ gr/cm}^3$$

(10)

$$\text{Peso unitario compactado agregado fino} = \frac{(\text{Peso suelo compactado} + \text{molde}) - \text{Peso molde}}{\text{Volumen molde}}$$

$$\text{Peso unitario compactado} = 1,508 \text{ gr/cm}^3$$

Tabla 10. Datos del agregado fino (arena homogenizada)

Altura recipiente:	16,7	cm
Diámetro recipiente:	15,4	cm
Volumen Recipiente:	3110,63	cm ³
Peso Molde:	8294,3	g
Peso suelo suelto + molde:	12405,2	g
Peso suelo compactado + molde:	12776,5	g

Fuente: El autor

(11)

$$\text{Peso unitario suelto agregado fino} = \frac{(\text{Peso suelo suelto} + \text{molde}) - \text{Peso molde}}{\text{Volumen molde}}$$

$$\text{Peso unitario suelto} = 1,321 \text{ gr/cm}^3$$

(12)

$$\text{Peso unitario compactado agregado fino} = \frac{(\text{Peso suelo compactado} + \text{molde}) - \text{Peso molde}}{\text{Volumen molde}}$$

$$\text{Peso unitario compactado} = 1,441 \text{ gr/cm}^3$$

Agregado grueso:

Tabla 11. Datos del agregado grueso reciclado

Altura recipiente:	16,7	cm
Diámetro recipiente:	15,2	cm
Volumen Recipiente:	3030,36	cm ³
Peso Molde:	7495,6	g
Peso suelo suelto + molde:	11060,0	g
Peso suelo compactado + molde:	11368,8	g

Fuente: El autor

(13)

$$\text{Peso unitario suelto agregado fino} = \frac{(\text{Peso suelo suelto} + \text{molde}) - \text{Peso molde}}{\text{Volumen molde}}$$

$$\text{Peso unitario suelto} = 1,176 \text{ gr/cm}^3$$

(14)

$$\text{Peso unitario compactado agregado fino} = \frac{(\text{Peso suelo compactado} + \text{molde}) - \text{Peso molde}}{\text{Volumen molde}}$$

$$\text{Peso unitario compactado} = 1,278 \text{ gr/cm}^3$$



Figura 10. Ensayo de peso unitario del agregado.
Fuente: El autor

7.3.4 Ensayo de peso específico del cemento

La prueba para determinar el peso específico del cemento se llevó a cabo de acuerdo con el procedimiento determinado por ASTM C 188-95.

El procedimiento en estándar implica llevar al horno durante 24 horas a $105 \pm 10^\circ\text{C}$ la muestra de cemento de aproximadamente 100 g., luego de realizar ese procedimiento, en una balanza de 0.1 g se pesa 64 gramos de material seco en equilibrio. Después se llena el contenedor Chatelier sin exceder la marca de 1 ml.

Una vez hecho ese proceso se indica el volumen marcado en el recipiente o contenedor, se agregan los 64 gramos de cemento y se indica el volumen marcado en el recipiente.

Datos y valores obtenidos del ensayo

- Peso del cemento: 64 g
- Volumen final: 21.2 ml
- Volumen inicial: 0.5 ml

Fórmula empleada para el cálculo:

(15)

$$\text{peso específico} = \frac{\text{peso del cemento (g)}}{\text{volumen final} - \text{volumen inicial(ml)}}$$

$$\text{peso específico} = \frac{64 \text{ g}}{21,2 \text{ ml} - 0,5 \text{ ml}}$$

$$\text{peso específico} = 3,09 \text{ g/cm}^3$$



Figura 11. Ensayo del peso específico del cemento.

Fuente: El autor

7.4 DOSIFICACIÓN DE MATERIALES POR METRO CÚBICO DE HORMIGÓN MEDIANTE EL MÉTODO DE DISEÑO ACI.

7.4.1 *Determinación de la resistencia promedio requerida*

Para determinar la resistencia promedio necesaria, usamos la referida tabla de ACI que permite calcular este valor cuando no hay datos de desviación estándar (*ver la tabla 12*).

Para este diseño de mezcla la resistencia especificada que se usa en esta investigación es de 280 kg/cm². Por tanto, se tomará como referencia la tabla que proporciona la norma.

Tabla 12. Resistencia promedio a la compresión requerida en ausencia de datos para la desviación estándar.

<i>Resistencia a la compresión específica f'_c, MPa</i>	<i>Resistencia promedio a la compresión requerida, MPa</i>
<i>Menos de 21</i>	$f'_{cr} = f'_c + 7.0f$
<i>De 21 a 35</i>	$f'_{cr} = f'_c + 8.5$
<i>Más de 35</i>	$f'_{cr} = 1.10f'_c + 5.0$

Fuente: ACI 318, (2011).

Utiliza la ecuación de 21 a 35 MPA

(16)

$$f'_{cr} = f'_c + 8.5$$

$$f'_{cr} = 240 + 8.5$$

$f'_{cr} = 248,5 \text{ Kg/cm}^2$

7.4.2 *Elección del diámetro máximo nominal del agregado.*

El agregado grueso reciclado usado en esta investigación es un triturado, donde se buscó su tamaño máximo nominal de acuerdo con la abertura de los tamices 3/4, 1/2, y 3/8. Es importante recalcar que el diámetro nominal del agregado natural para hormigones va desde 9 mm hasta 19 mm, por tanto, se seleccionó los tamices antes mencionados.

$TMN = 3/4, 1/2, \text{ y } 3/8.$

7.4.3 Elección del asentamiento

Se debe considerar la trabajabilidad requerida para el diseño de hormigón empleado en el estudio, para ello se adoptó un asentamiento de 4" (10cm) para un hormigón de consistencia plástica (ver Tabla 13).

Tabla 13. Determinación de la consistencia a partir del asentamiento.

Consistencia del hormigón	Asentamiento
Seca	0" a 2"
Plástica	3" a 4"
Fluida	$\geq 5"$

Fuente: ACI 211-1, 2008

Tabla 14. Revenimiento "r" recomendado para cada tipo de construcción.

ELEMENTOS CONSTRUCTIVOS	r (cm)	
	MÁXIMO	MÍNIMO
<i>Fundaciones: Muros y Zapatas con refuerzo</i>	7.50	2.50
<i>Fundaciones: Muros y Zapatas sin refuerzo</i>	7.50	2.50
<i>Vigas y Muros reforzados</i>	10	2.50
<i>Columnas de edificios</i>	10	2.50
<i>Pavimento y Losas</i>	7.50	2.50
<i>Hormigón en masa</i>	7.50	2.50

Fuente: ACI 211-1, 2008

7.4.4 Volumen unitario de agua.

Para establecer el volumen unitario de agua a utilizar en el estudio, se considera los valores correspondientes de un hormigón con asentamiento de 10 centímetros y el tamaño máximo nominal del agregado reciclado que fue determinado mediante los diferentes tamices. En este caso como se trabajó con 3 tamices, se hace un promedio para conocer el valor de volumen unitario (ver Tabla 15).

Tabla 15. Requerimientos aproximados de agua de mezcla y contenido de aire según el asentamiento y tamaño máximo de agregados.

<i>cm</i>	<i>9.5</i>	<i>12.5</i>	<i>19</i>	<i>25</i>	<i>37.5</i>	<i>50</i>	<i>75</i>	<i>150</i>
	<i>mm</i>	<i>mm</i>	<i>mm</i>	<i>mm</i>	<i>mm</i>	<i>mm</i>	<i>mm</i>	<i>mm</i>
	<i>(3/8")</i>	<i>(1/2")</i>	<i>(3/4")</i>	<i>(1")</i>	<i>(1½")</i>	<i>(2")</i>	<i>(3")</i>	<i>(6")</i>
<i>hormigón sin aire incluido</i>								
<i>3 a 5</i>	<i>207</i>	<i>199</i>	<i>190</i>	<i>179</i>	<i>166</i>	<i>154</i>	<i>130</i>	<i>113</i>
<i>8 a 10</i>	<i>228</i>	<i>216</i>	<i>205</i>	<i>193</i>	<i>181</i>	<i>169</i>	<i>145</i>	<i>124</i>
<i>15 a 18</i>	<i>243</i>	<i>228</i>	<i>216</i>	<i>202</i>	<i>190</i>	<i>178</i>	<i>160</i>	<i>-</i>
<i>Cantidad aprox. De aire, en hormigón sin aire incluido (%)</i>	<i>3</i>	<i>2.5</i>	<i>2</i>	<i>1.5</i>	<i>1</i>	<i>0.5</i>	<i>0.3</i>	<i>0.2</i>
<i>hormigón con aire incluido</i>								
<i>3 a 5</i>	<i>181</i>	<i>175</i>	<i>168</i>	<i>160</i>	<i>150</i>	<i>142</i>	<i>122</i>	<i>107</i>
<i>8 a 10</i>	<i>202</i>	<i>193</i>	<i>184</i>	<i>175</i>	<i>165</i>	<i>157</i>	<i>133</i>	<i>119</i>
<i>15 a 18</i>	<i>216</i>	<i>205</i>	<i>197</i>	<i>184</i>	<i>174</i>	<i>166</i>	<i>154</i>	<i>-</i>
<i>Cantidad recomendable de contenido total de aire (%)</i>	<i>8</i>	<i>7</i>	<i>6</i>	<i>5</i>	<i>4.5</i>	<i>4</i>	<i>3.5</i>	<i>3</i>

Fuente: ACI 211-1, 2008

Volumen unitario de agua = **216,33 Kg/ m³**

7.4.5 Contenido de aire.

Para el contenido de aire atrapado se tomó en consideración la siguiente tabla del ACI, se seleccionó así mismo el valor promedio de los 3 tamices correspondiente al tamaño nominal. (ver **Tabla 16**).

Tabla 16. Contenido de aire atrapado en función al tamaño máximo nominal de contenido de aire para distintos tamaños de agregados.

CONTENIDO DE AIRE ATRAPADO	
Tamaño máximo nominal	Aire atrapado
3/8"	3.0%
1/2"	2.5%
3/4"	2.0%
1"	1.5%

1 1/2"	1.0%
2"	0.5%
3"	0.3%
6"	0.2%

Fuente: ACI 211-1, 2008

7.4.6 Relación agua / cemento.

Para determinar la relación agua/cemento se utiliza la tabla dada por el ACI como referencia, en donde, de acuerdo con la resistencia requerida se debe realizar una interpolación entre los valores superiores e inferiores indicados (ver *Tabla 17*).

Tabla 17. Correspondencia entre la relación agua/cemento y la resistencia.

Agua/cemento	Resistencia probable a 28 días (Kg/cm ²) en compresión	
	hormigón sin aire incorporado	hormigón con aire incorporado
0.35	420	335
0.44	350	280
0.53	280	225
0.62	225	180
0.71	175	140
0.80	140	110

Fuente: ACI 211-1,2008

Interpolación

280	0,53
225	0,63
	0,57

7.4.7 Factor cemento

Para determinar el factor de cemento, se debe dividir el volumen unitario de agua entre la relación agua/cemento obtenido anteriormente.

(17)

$$factor\ cemento = \frac{volumen\ unitario\ de\ agua}{relacion\ agua/cemento}$$

$$factor\ cemento = \frac{216,33}{0,57} = 379,53\ kg/m^3$$

$$cantidad\ de\ sacos\ de\ cemento = \frac{379.53}{50\ kg} = 7,60\ sacos\ por\ cada\ m^3$$

Cantidad de agregado grueso.

Para determinar la cantidad de agregado grueso por metro cúbico de hormigón, empleamos la siguiente tabla del ACI, tomando como referencia la resistencia del módulo de fineza del agregado fino (2,44), e interpolamos los valores de dicha tabla con los de la tabla.

Tabla 18. Volumen de agregado grueso por unidad de volumen de hormigón en función del tamaño máximo del agregado y el módulo de finura.

Tamaño máximo de agregado en mm	2.40	2.60	2.80	3.00
9.5	0.50	0.48	0.46	0.44
12.5	0.59	0.57	0.55	0.53
19	0.66	0.64	0.62	0.60
25	0.71	0.69	0.67	0.65
37.5	0.75	0.73	0.71	0.69
50	0.78	0.76	0.74	0.72
75	0.82	0.80	0.78	0.76
150	0.87	0.85	0.83	0.81

Fuente: ACI 211-1, 2008

Interpolación

2,40	0,59
2,44	0,586
2,60	0,57

Volumen varillado seco de agregado grueso = **0,586 m³**

Peso unitario compactado = **1,441 gr/cm³ o 1441,0 kg/m³**

Peso del agregado grueso seco = 0,586 m³ * 1441,0 Kg/m³ = **844,426 Kg/m³**

Cálculo de volúmenes absolutos.

(18)

$$cemento = \frac{factor\ cemento}{peso\ especifico\ del\ cemento}$$

$$\text{Volumen de cemento} = \frac{379,53}{3,09 * 1000} = \mathbf{0,1228 \text{ m}^3}$$

(19)

$$\text{agua} = \frac{\text{volumen unitario de agua}}{\text{peso especifico del agua}}$$

$$\text{volumen de agua} = \frac{216,33 \text{ kg/m}^3}{1 * 1000} = \mathbf{0,216 \text{ m}^3}$$

(20)

$$\text{volumen de aire} = \frac{2,5}{100} = \mathbf{0,025 \text{ m}^3}$$

$$\text{agregado grueso} = \frac{\text{peso de agregado grueso seco}}{\text{peso especifico del agregado grueso}}$$

(21)

$$\text{agregado grueso} = \frac{844,426}{2,459 * 1000} = \mathbf{0,3434 \text{ m}^3}$$

$$\Sigma \text{ volúmenes absolutos: } \mathbf{0,7072 \text{ m}^3}$$

7.4.8 Cálculo de agregado fino.

Volumen total de agregado fino = 1 – Σ volúmenes totales

Volumen tota de agregado fino = 1 – 0,7072 = **0,2928 m³**

Peso del agregado fino = Volumen total de agregado fino * peso específico de agregado fino

Peso específico de la arena = 2,71 gr/cm³

Peso del agregado fino seco = 0,2928 * 2,71 * 1000 = **793,488 Kg/m³**

7.4.9 Valores de diseño de mezcla.

Cemento = **379,53** Kg/m³ → Factor cemento

Agua de diseño = **216,33** L/m³ → Volumen unitario de agua

Agregado grueso seco = **844,426** Kg/m³ → Peso de agregado grueso seco

Agregado fino seco = **793,488** Kg/m³ → Peso de agregado fino seco

Corrección por humedad de agregados.

➤ Agregado fino:

Contenido de humedad: 5,40 %

(22)

Peso húmedo de agregado fino = Peso de agregado fino seco * contenido de humedad

Peso húmedo de agregado fino = 5,40% (**793,488**) + **793,488** = 836,33 Kg/m³

➤ Agregado grueso reciclado:

Contenido de humedad: 5,64%

Peso húmedo de agregado grueso = 5,64% (844,426) + 844,426 = 892,05 Kg/m³

➤ Humedad superficial de agregados:

(23)

Humedad SA = Contenido de humedad – Porcentaje de absorción.

➤ Humedad superficial de agregado grueso:

Absorción (%) = 5,97 %

Contenido de humedad (%) = 5,64 %

Humedad superficial de agregado grueso = 5,64 % - 5,97 % = -0,33%

➤ Humedad superficial de agregado fino:

Absorción (%) = 2,60 %

Contenido de humedad (%) = 5,40 %

Humedad superficial de agregado grueso = 5,40 % - 2,60 % = 2,8%

7.4.10 Aporte de humedades de agregados:

(24)

Aporte de humedades de agregados

$$= \text{peso seco del agregado} * \text{humedad superficial}(\%)$$

Aporte de humedad de agregado fino= 793,488 L/m³*(2,8%) = 22,21 L/m³

Aporte de humedad de agregado grueso= 844,426 L/m³*(-0,33%) = -2,78 L/m³

Σ=19,43 L/m³

Agua efectiva: 216,33 +19,43= 235,76 L/m³

Pesos de materiales corregidos por humedades de agregados:

Cemento = 379,53 Kg/m ³	380 kg/m³
Agua efectiva = 222.579 L/m ³	235,76 L/m³
Agregado grueso húmedo= 892,05 Kg/m ³	893 kg/m³
Agregado fino húmedo= = 836,33 Kg/m ³	834 kg/m³

7.4.11 Propiedades de los materiales de acuerdo con su peso.

Para calcular las proporciones de mezcla se determina la relación de cada material dividiendo su peso con el del cemento.

Tabla 19. Proporciones de mezcla para materiales

Cemento-Arena-Grava-Agua			
438	<u>834</u>	<u>893</u>	<u>235,76</u>
380	<u>380</u>	<u>380</u>	<u>7,60</u>
1	2.19	2.35	31.02L/saco.

Fuente: El autor

7.5 Cálculo de cantidades de material para 6 cilindros de hormigón (10 cm diámetro x 20 cm de altura).

7.5.1 Determinación del volumen de cada muestra.

(25)

$$V = A * H$$

Donde:

H: altura del cilindro

A: área de la sección transversales.

(26)

$$A = \frac{\pi d^2}{4}$$

Sustituyendo los valores:

$$V = \frac{\pi * 10^2}{4} * 20 = 1570,80 \text{ cm}^3$$

Para 6 Cilindros

$$V_{total} = 1570,80 * 6 = 9424,8 \text{ cm}^3$$

Se incluye un desperdicio del 8 %

$$V_{total+desperdicio} = 9424,8 * 1,08 = 10178,78 \text{ cm}^3 \text{ o } 0,01017878 \text{ m}^3$$

Cálculo de cantidades de los materiales:

Material	Cantidad para 1 m³	Cantidad para 0,01018 m³
Cemento	380 kg	3.86 kg
Arena	780 kg	8.49 kg
Grava	867 kg	9.09 kg
Agua	235.76 L	2.40 L

7.5.2 *Elaboración y curado de los especímenes cilíndricos de hormigón*

1. Con las cantidades de materiales previamente calculadas, se debe elaborar los especímenes que deberán ser ensayadas a 7, 14 y 28 días de curado.
2. Las fundiciones se realizaron en el laboratorio de suelos y materiales “Bolívar Ortiz Logroño” de la facultad de Ingeniería, Industria y Arquitectura.
3. Para la preparación de la mezcla se utilizó una concretera con capacidad de medio saco de cemento para poder producir las seis probetas.
4. La fabricación de los cilindros se realizó mediante la norma ASTM C31.
5. Posteriormente se pesaron cuidadosamente el cemento, arena y agua para elaborar la mezcla.



Figura 12. Peso de cantidad dosificada de cemento
Fuente: El autor

7.6 **Producción del hormigón.**

Una vez obtenido los materiales, se procede a la preparación del hormigón siguiendo el siguiente proceso:

- Se limpia la concretera para eliminar cualquier residuo de mezcla.
- Con la maquina en funcionamiento, se añade agua para humedecer la superficie de

contacto.

- Se retira el exceso de agua acumulada en la máquina.
- Se incorpora el agregado grueso (grava) previamente lavado correspondiente (en este caso material reciclado).
- Se añade el agregado fino (arena).
- Posteriormente se incorpora el cemento evitando dispersión en el aire.
- Se verifica que la mezcla de los agregados y el cemento sea completamente homogénea.
- Se agrega el volumen previamente calculado.
- Se evalúa la trabajabilidad del hormigón, en caso de no ser la suficiente se añade agua de forma gradual hasta alcanzar la consistencia requerida.
- Se detiene la concretera para realizar el ensayo de asentamiento (cono de Abrams) para confirmar el asentamiento y se encuentra dentro de lo permitido por el ACI.
- Finalmente se toman las muestras en los respectivos especímenes.



Figura 13. Mezclado de materiales en concretera.
Fuente: El autor



Figura 14. Lavado de nuestro material reciclado
Fuente: El autor



Figura 15. Comprobación de la consistencia del hormigón
Fuente: El autor

7.7 Elaboración de los cilíndricos de hormigón.

Tras la elaboración del hormigón, se procede al llenado de los cilindros como se detalla a continuación:

- Se selecciona los moldes destinados para la fundición y se limpian para eliminar cualquier impureza.
- Una vez limpios se aplica aceite desmoldante en su interior para evitar la adhesión del hormigón con el molde.
- Se ubica los moldes en un lugar nivelado para empezar a llenarlos con el hormigón.
- Se debe colocar los cilindros en dos capas. Cada capa recibe 25 hincadas con una varilla de punta redondeada de 3/8 de pulgada, terminando con golpes en la parte lateral utilizando un martillo de goma. Este procedimiento asegura la eliminación de burbujas de aire atrapadas, garantizando la integridad de las probetas para el ensayo de compresión.



Figura 16. Llenado de los moldes.

Fuente: El autor



Figura 17. Enrasado de cara superior de especímenes.

Fuente: El autor

7.7.1 Curado de los especímenes

Para realizar la presente investigación, se emplearon periodos de curado de 3, 7 y 28 días.

Procedimiento:

- Transcurridas 24 horas del proceso de fraguado en los moldes, se procede a desmoldar las probetas.
- Una vez realizado el desmolde se procede a marcar la cara superior de las probetas

con la fecha de fundición y la resistencia de diseño.

- Luego de esto se procede a sumergir las probetas en agua limpia hasta que cumplan con las fechas de curado respectivas.
- Una vez cumplidas las fechas de curado se procede a retirar del agua las probetas y se las deja reposar por 24 horas antes de ensayarlas a compresión.



Figura 18. Inmersión de especímenes para curado.

Fuente: El autor

7.8 Ensayo a las probetas cilíndricas a la compresión

- Máquina de ensayo de compresión manual.
- Almohadillas o base de neopreno.

Procedimiento

- Se empezó retirando las probetas de hormigón del curado de acuerdo con los días en que serán ensayadas de 3,7 y 28 días.
- Luego las probetas fueron llevadas a la máquina de compresión manual.
- Posteriormente se tomó las medidas de los diámetros de cada probeta y se colocó

las probetas de manera centradas y niveladas en la máquina de compresión.

- Se verificó que la pantalla indique cero y se configuró en la máquina sobre el tamaño de muestra que se va a ensayar.
- Se registró la carga máxima expresada en kgf en las probetas ensayadas y se determinó la resistencia a la compresión.

(27)

$$f_c = \frac{F}{A_c} = \frac{F}{\pi\left(\frac{D}{2}\right)^2}$$

Donde:

f_c : es la resistencia a compresión expresada en Kgf/cm².

F: es la carga máxima, expresada en kgf (Kilogramos fuerza), resistida por la probeta.

A_c : es la superficie de aplicación de la carga en cm². D: es el diámetro en cm de la probeta.



Figura 19. Ensayo de resistencia a compresión.

Fuente: El autor



Figura 20. Manipulación de la prensa.
Fuente: El autor

CAPITULO IV: RESULTADOS Y CONCLUSIONES

7.9 Valores de resistencia a la compresión a los 3 días

En la Tabla 20 se indican los valores de ensayos de resistencia a la compresión de probetas de hormigón a los 3 días.

Tabla 20.Tabla de resultados de la resistencia a la compresión a los 3 días en los cilindros.

TABLA DE RESULTADOS ENSAYOS A COMPRESIÓN										
F _c (kg/cm ²)=		280		REFERENCIA: Hormigón con agregado grueso reciclado.					Fecha de elaboración: 17/06/25	
Edad	# de Especimen	Diámetros			Diámetro prom.	Área	Fuerza Máxima	Resistencia	Porcentaje	Tipo de falla
(días)	(unidad)	(cm)			(cm)	(cm ²)	(kgf)	(kgf/cm ²)	(%)	(unidad)
3	1	10,02	10,04	10,08	10,05	79,27	11369,00	143,41	51,22	2
	2	10,10	10,06	10,02	10,06	79,49	11560,20	145,44	51,94	3
	3	10,10	10,06	10,02	10,06	79,49	10896,70	137,09	48,96	5
	4	10,08	10,10	10,06	10,08	79,80	11498,50	144,09	51,46	4

Fuente: El autor

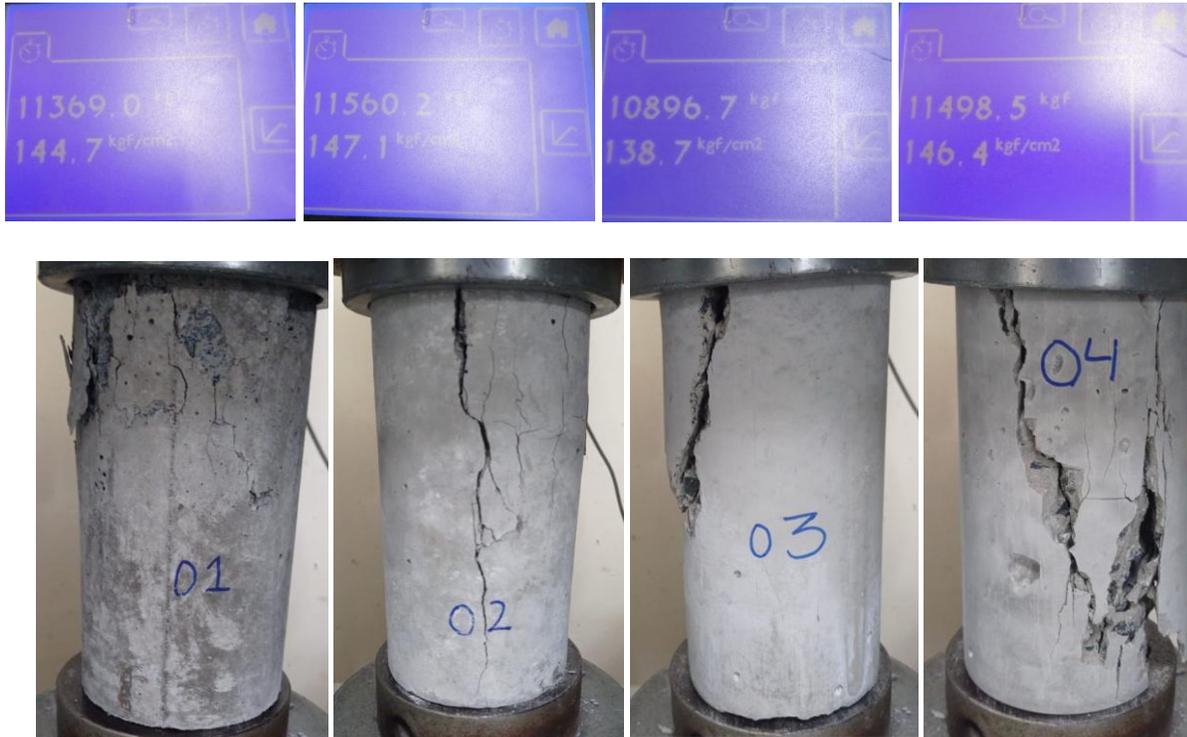


Figura 21. Ensayo de su resistencia a la compresión en sus 3 días.

Fuente: El autor

7.10 Resistencia a los 7 días

En la **Tabla 21** se indican los valores de los ensayos realizados sobre la resistencia a la compresión de probetas de hormigón a los 7 días.

Tabla 21. Resultados de la resistencia a la compresión a los 7 días.

TABLA DE RESULTADOS ENSAYOS A COMPRESIÓN										
F _c (kg/cm ²)=		280		REFERENCIA: Hormigón con agregado grueso reciclado.				Fecha de elaboración: 17/06/25		
Edad (días)	de Espécimen (unidad)	Diámetros (cm)			Diámetro prom. (cm)	Área (cm ²)	Fuerza Máxima (kgf)	Resistencia (kgf/cm ²)	Porcentaje (%)	Tipo de falla (unidad)
7	5	10.02	10.04	10.06	10.04	79.17	17309.50	218.64	78.09	3
	6	10.02	10.12	10.06	10.07	79.59	16228.40	203.90	72.82	6
	7	10.00	10.00	10.00	10.00	78.54	17645.80	224.67	80.24	3
	8	10.00	10.01	10.01	10.01	78.64	17067.20	217.02	77.51	6

Fuente: El autor



Figura 22. Ensayo de su resistencia a los 7 días.

Fuente: El autor

7.11 Resistencia a la compresión a los 28 días

En la **Tabla 22** se indican los valores de los resultados obtenidos del ensayo de resistencia a la compresión de probetas de hormigón a los 28 días.

Tabla 22. Valores de resistencia a la compresión a los 28 días.

TABLA DE RESULTADOS ENSAYOS A COMPRESIÓN											
F _c (kg/cm ²)=		280	REFERENCIA: Hormigón con agregado grueso reciclado.					Fecha de elaboración: 17/06/25			
Edad (días)	# de Especimen (unidad)	Diámetros (cm)			Diámetro prom. (cm)	Área (cm ²)	Fuerza Máxima (kgf)	Resistencia (kgf/cm ²)	Porcentaje (%)	Tipo de falla (unidad)	
28	9	10,00	10,01	10,00	10,00	78,59	22535,20	286,74	102,41	6	
	10	10,00	10,00	10,00	10,00	78,54	23404,10	297,99	106,42	6	
	11	10,00	10,01	10,01	10,01	78,64	22565,70	286,93	102,48	7	
	12	10,00	10,00	10,01	10,00	78,59	23178,60	294,92	105,33	7	

Fuente: El autor

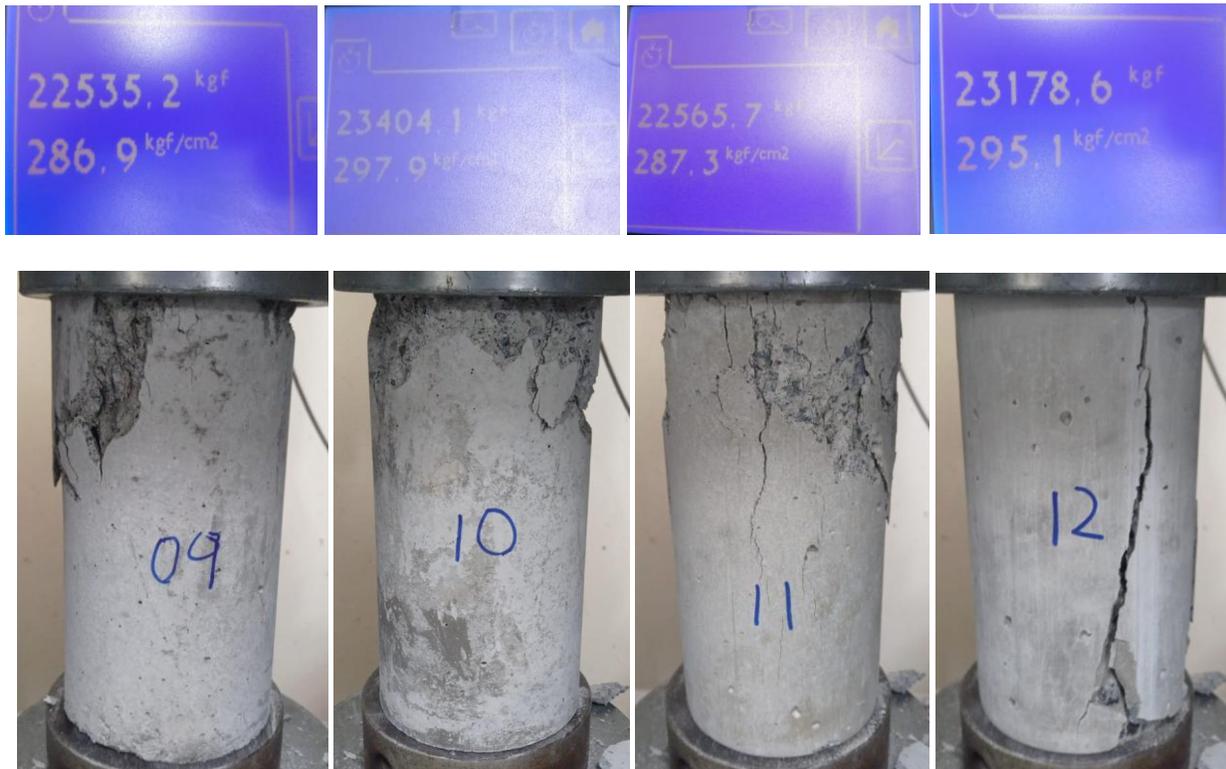


Figura 23. Ensayo de su resistencia a los 28 días.

Fuente: El autor

8 CONCLUSIONES

El proceso de trituración de los cilindros ensayados previamente en el laboratorio de la facultad resultó exitoso, se logró caracterizar un material reciclado apto para la creación de un hormigón con propiedades similares a las que posee un agregado natural en mezclas destinadas al bacheo de vías.

El proceso de caracterización en las propiedades físicas y mecánicas del agregado grueso reciclado, permitió comprobar que sus propiedades cumplen con los parámetros establecidos en la normativa vigente ASTM C39-Resistencia a compresión de cilindros y el Instructivo RCD (Residuos de construcción y demolición), garantizando su utilización en nuevas mezclas de hormigón. Además, se identificó que, aunque el material reciclado presente un mayor porcentaje de absorción, este cumple con la resistencia a la compresión establecida en el diseño de la mezcla, su uso es recomendable especialmente en mezclas para recapeo en pavimento rígido, sus propiedades físicas y mecánicas contribuyen a una mejor integración del material en aplicaciones viales.

Las mezclas elaboradas con la sustitución o el reemplazo del agregado natural por agregado grueso reciclado alcanzaron la resistencia de diseño de 280kg/cm^2 , el ensayo de resistencia a la compresión en solo sus primeros 3 días ya se pudo evidenciar que el hormigón alcanzaba un porcentaje superior al 50%; no obstante ya era un indicio encaminado a superar el 100 % en días posteriores; verídicamente fue así, a los 28 días el hormigón hecho a base de agregado grueso reciclado superaba el 102% de la resistencia de diseño, verificando que el material reciclado mantiene un desempeño adecuado en términos de resistencia a la compresión. Finalmente, en Ecuador no existe una norma específica que regule de manera directa el uso de agregado reciclado de hormigón para bacheo de vías, sin embargo, se puede trabajar bajo un marco normativo y

técnico de referencia como lo es la NEC-SE Hormigón 2021; el cual justifica cumplir con una resistencia mínima de 280 kg/cm².

El uso de aditivos si mejora la adherencia entre el agregado reciclado y la matriz cementicia, potenciando las propiedades mecánicas y la trabajabilidad del hormigón reciclado. Existen diversos tipos de aditivos para este material, estos pueden mejorar la adhesión y el anclaje entre un material previamente endurecido y uno nuevo. Entre estos se incluye puentes de unión, látex, adhesivos epóxicos y aditivos basados en látex o polímeros (Sikalatex y Sikadur-32). Cada uno de ellos pueden reforzar la unión de capas, prevenir desprendimientos y contribuir al incremento de la durabilidad del pavimento.

El aprovechamiento del hormigón reciclado contribuye a la reducción de residuos de construcción y demolición, promoviendo practicas sostenibles en la ingeniería civil y ofreciendo una solución técnica eficiente para el mantenimiento vial.

Se recomienda la implementación del hormigón reciclado en proyectos de bacheo de vías, ya que su desempeño estructural y sus beneficios ambientales lo convierten en una alternativa factible frente al uso exclusivo de agregado naturales.

9 RECOMENDACIONES

- Se recomienda utilizar la cantidad de material necesario para el ensayo de las probetas cilíndricas
- Realizar un adecuado lavado de los agregados gruesos antes de elaborar el hormigón y asegurarse que esté libre de cualquier contaminante.
- Realizar una limpieza a la concreteira, ya que, esta puede tener residuos de mezclas anteriores y así evitar alteraciones en la dosificación del hormigón.
- Realizar todos los procedimientos que dicta la norma ACI sobre el llenado, desmontaje y pruebas de cilindros de hormigón.

10 REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.

(s.f.). Obtenido de Researchgate.net:

https://www.researchgate.net/publication/361611058_Propiedades_fisicas_y_mecanicas_del_concreto_fabricado_con_agregado_reciclado_Una_revision_literaria

ITeC. (18 de 02 de 2021). Obtenido de Áridos reciclados - ITeC - Instituto de Tecnología de la

Construcción: <https://itec.es/servicios/productos-sostenibles/aridos-reciclados/>

"La casa de hormigón". (14 de 02 de 2024). Obtenido de 5 Propiedades del hormigón:

mecánicas, físicas, químicas: <https://lacasadehormigon.es/blog/cuales-son-propiedades-del-hormigon/>

(18 de 05 de 2025). Obtenido de 360 EN CONCRETO:

<https://360enconcreto.com/blog/detalle/agregados-reciclados-que-y-para-que/#:~:text=El%20agregado%20de%20concreto%20reciclado,no%20ser%C3%ADan%20m%C3%A1s%20que%20escombros.>

360Enconcreto.com. (s.f.). Obtenido de [https://360enconcreto.com/blog/detalle/agregados-](https://360enconcreto.com/blog/detalle/agregados-gravas-y-arenas-para-la-construccion/#:~:text=Una%20de%20las%20principales%20funciones,elegir%20los%20de%20mejor%20calidad.)

gravas-y-arenas-para-la-

construccion/#:~:text=Una%20de%20las%20principales%20funciones,elegir%20los%20de%20mejor%20calidad.

Acheco-Torgal, F., Tam, V. W., Ding, Y., & Labrincha, J. A. (2013). *Handbook of Recycled*

Concrete and Demolition Waste. Woodhead Publishing.

ACI. (2001). *ACI 211.1: Standard Practice for Selecting Proportions for Normal Concrete*.

Brooks, J. J., & Neville, A. M. (2013). *Tecnología del concreto*. Editorial Trillas.

Caspa, N. (28 de 05 de 2025). *Vista de Historia de las carreteras del Ecuador, 1930-1960: Infraestructura y políticas de transportes*. Obtenido de Org.uy:
<https://www.audhe.org.uy/publicaciones/index.php/RUHE/article/view/69/49>

CEDEX. (Diciembre de 2010). *Ficha técnica para residuos de construcción y demolición* .

Cemex. (03 de 09 de 2025). Obtenido de Pavimentos de Hormigón para Carretera y Autopistas:
<https://www.cemex.es/pavimientos-hormigon/carreteras-autopistas>

Contreras, L. F. (2023). Análisis Comparativo de la Resistencia a compresión entre el hormigón tradicional y. *REVISTA INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO*, 14 pag .

Crushed concrete: The pros, cons and FAQs. (s.f.). Obtenido de Machinerypartner.com:
<https://www.machinerypartner.com/blog/crushed-concrete-the-pros-cons-and-faqs>

Cusco. (2019). Universidad Andina del Cusco - repositorio institucional. *Evaluación de las propiedades mecánicas de un concreto autocompactante adicionando fibras sintéticas* .

E.P.N. (2021). Evaluación del uso de hormigón reciclado en mezclas para bacheo urbano.
Escuela Politécnica Nacional.

EPN. (2021). *Escuela Politécnica Nacional-Evaluación del concreto reciclado en bacheo urbano utilizando cilindros ensayados*. Departamento de Ingeniería Civil.

Fang, C., Zhang, Y., & Xiao. (2019). Recycled aggregate concrete - A review of structural performance. *Construction and Building Materials*, 714 .

Fernandez, S. (01 de Junio de 2022). *ANDECE*. Obtenido de <https://www.andece.org/la-reciclabilidad-en-los-productos-prefabricados-de-hormigon-uso-de-aridos-reciclados/>

Ferrovial. (09 de 03 de 2025). Obtenido de Hormigón:
<https://www.ferrovial.com/es/recursos/hormigon/>

Gherardi, M. (15 de 6 de 2023). *CEMEX Ventures* . Obtenido de Hormigón reciclado: cómo funciona | Cemex Ventures: <https://www.cemexventures.com/es/hormigon-reciclado/>

Holcim Ecuador S.A. (s.f.). Obtenido de Agregados Gruesos Piedra : <https://www.holcim.com.ec/agregados-piedra>

Hulatt, L. (s.f.). *Concrete properties*. Obtenido de Vaia: https://www-vaia-com.translate.goog/en-us/explanations/architecture/building-materials/concrete-properties/?_x_tr_sl=en&_x_tr_tl=es&_x_tr_hl=es&_x_tr_pto=sge

Kou, S. C., & Poon, C. S. (2009). Properties of self-compacting concrete prepared with coarse and fine recycled concrete aggregates. *Cement and Concrete Composites*, 31.

MIDUVI. (p.3).

MIDUVI. (2021, p.2). *Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda (MIDUVI). (2021). Norma Ecuatoriana de la Construcción - NEC SE-HORMIGÓN.*

MIDUVI. (2021, p.21).

MIDUVI. (2021, p.25). *Para alcanzar una resistencia de 280 kg/cm², se recomienda un contenido de cemento entre 300 y 320 kg/m³, ajustado según los agregados disponibles.*

“El contenido mínimo de cemento dependerá de la exposición ambiental y de los requisitos estructurales” (MI.

MIDUVI. (2021, p.27). *Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda (MIDUVI). (2021). Norma Ecuatoriana de la Construcción - NEC SE-HORMIGÓN.*

MIDUVI. (2021, p.37). *Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda (MIDUVI). (2021). Norma Ecuatoriana de la Construcción - NEC SE-HORMIGÓN.*

MIDUVI, M. d.-N. (2021, p.21). *MIDUVI.*

- MIDUVI-NEC. (2021). *MIDUVI, Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda (MIDUVI). (2021). Norma Ecuatoriana de la Construcción - NEC. ECUADOR.*
- Municipalidad. (2020). *Manual técnico para mantenimiento vial urbano.* Quito.
- Muñoz, P. S. (2021). *Propiedades físicas y mecánicas del concreto fabricado con agregado reciclado: Una. Respuestas .*
- NEC-SE-HORMIGÓN. (2023). *MIDUVI. Capítulos de la NEC (Norma Ecuatoriana de la Construcción).* Ecuador.
- NTE INEN 872. (2013). *En Agregados para concreto. Requisitos físicos.*
- NTE-INEN.1885-2. (2015). *HORMIGONES. HORMIGÓN PREPARADO EN OBRA.*
- (p.4). *Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda (MIDUVI). (2021). Norma Ecuatoriana de la Construcción - NEC SE-HORMIGÓN.*
- Pérez, N. (2018). *Resumen boletines - Instituto Mexicano del Transporte-Agregado de base de concreto reciclado versus agregado de base tradicional.* MEXICO.
- Piquera, V. Y. (20 de diciembre de 2022). *Poli Blogs .* Obtenido de <https://victoryepes.blogs.upv.es/tag/trituradora-de-cilindros/>
- Silva, R. V., & Brito, D. (2014). Properties and composition of recycled aggregates from construction and demolition waste suitable for concrete production. *Construction and Building Materials*, 65.
- Sosa, B. (2017). Análisis de las propiedades físicas y mecánicas del hormigón elaborado con partículas de caucho de neumáticos reciclados.
- Tam, V. W., Gao, X. F., & Tam, C. M. (2005). Microstructural analysis of recycled aggregate concrete produced from two-stage mixing approach. *Cement and Concrete Research*, 35.

Tensolite. (09 de 03 de 2025). *Tensolite.com* . Obtenido de Fábrica de Premoldeados y Pretensados de Hormigón: <https://tensolite.com/noticias/reutilizacion-y-reciclaje-del-hormigon>

UCE. (2020). *Universidad Central del Ecuador. Análisis experimental del concreto reciclado para uso en mantenimiento vial*. Carrera de Civil.

Ventures, C. (6 de junio de 2023). *Cemex Ventures* . Obtenido de <https://www.cemexventures.com/es/hormigon-reciclado/#:~:text=construcci%C3%B3n%20o%20renovaci%C3%B3n.-,C%C3%B3mo%20se%20recicla%20el%20hormig%C3%B3n,hasta%20obtener%20las%20especificaciones%20preferidas>.

Zega, C. J. (s.f.). *Edu.ar*. Obtenido de <https://www.fio.unicen.edu.ar/images/stories/carreras/posgrado/hormigon/tesis/TesisZega.pdf>

11 ANEXOS

Anexo 1

Agregado grueso reciclado



Anexo 2

Tamaño de los agregados



Anexo 3

Agregado fino



Anexo 4

Tamizado de agregados



Anexo 5

Proceso de ensayo peso específico de cemento



Anexo 6

Agregado grueso sumergido



Anexo 7

Llenado de cilindros de hormigón



Anexo 8

Enrasado de probetas



Anexo 9

Fraguado de las muestras de hormigón



Anexo 10

Medición del diámetro de las muestras de hormigón



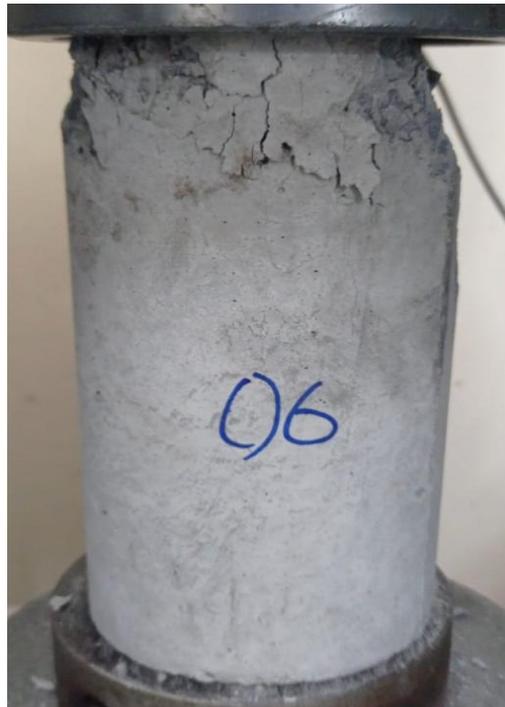
Anexo 11

Resistencia del hormigón a los 3 días



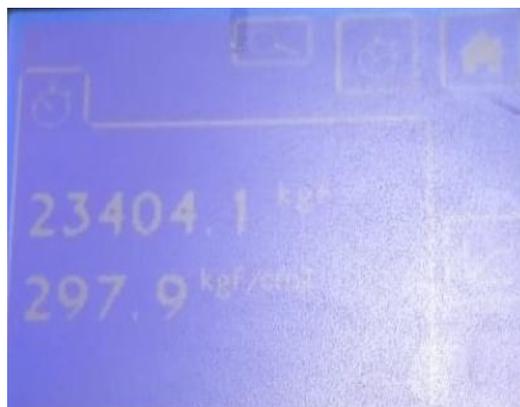
Anexo 12

Resistencia del hormigón a los 7 días



Anexo 13

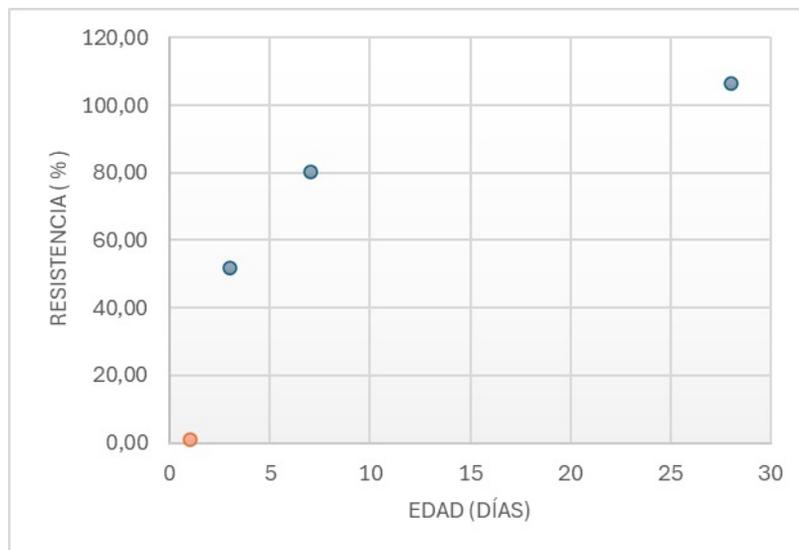
Resistencia del hormigón a los 28 días





Anexo 14

Gráfico de incremento



Anexo 15

Supervisión del encargado del laboratorio



Anexo 16

Colaboración del ingeniero Javier Bravo

