

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

TRABAJO EXPERIMENTAL PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL

TEMA:

"ANÁLISIS COMPARATIVO DEL COMPORTAMIENTO A FLEXIÓN ENTRE VIGAS DE HORMIGÓN ARMADO ELABORADAS CON AGREGADO GRUESO NATURAL Y RECICLADO"

AUTOR: Alison Odalis Sánchez Balseca

TUTOR: Ing. Carlos Patricio Navarro Peñaherrera, Mg.

AMBATO - ECUADOR

Agosto - 2024

APROBACIÓN DEL TUTOR

En mi calidad de Tutor del Trabajo experimental, previo a la obtención del Título de Ingeniero Civil, con el tema **"ANÁLISIS COMPARATIVO DEL COMPORTAMIENTO A FLEXIÓN ENTRE VIGAS DE HORMIGÓN ARMADO ELABORADAS CON AGREGADO GRUESO NATURAL Y RECICLADO"**, elaborado por la Srta. Alison Odalis Sánchez Balseca, portador de la cédula de ciudadanía C.I. 1850477173, estudiante de la Carrera de Ingeniería Civil de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica.

Certifico:

- Que el presente Trabajo experimental es original de su autor.
- Ha sido revisado cada uno de sus capítulos componentes.
- Está concluido en su totalidad.

Ambato, agosto 2024



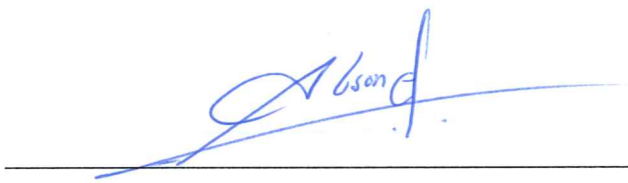
Ing. Carlos Patricio Navarro Peñaherrera, Mg.

TUTOR

AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Alison Odalis Sánchez Balseca, con C.I 1850477173, declaro que todas las actividades y contenidos expuestos en el desarrollo del presente Trabajo Experimental con el tema **"ANÁLISIS COMPARATIVO DEL COMPORTAMIENTO A FLEXIÓN ENTRE VIGAS DE HORMIGÓN ARMADO ELABORADAS CON AGREGADO GRUESO NATURAL Y RECICLADO"** así como también los análisis, ideas, tablas, gráficos, conclusiones y recomendaciones son de mi exclusiva responsabilidad como autora del proyecto, a excepción de las referencias bibliográficas citadas en el mismo.

Ambato, agosto 2024



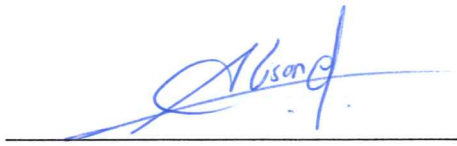
Alison Odalis Sánchez Balseca
1850477173
AUTORA

DERECHOS DE AUTOR

Autorizo a la Universidad Técnica de Ambato para que haga de este Trabajo experimental o parte de él, un documento disponible para su lectura consulta y procesos de investigación, según las normas de la Institución.

Cedo los derechos en línea patrimoniales de mi trabajo experimental, con fines de difusión pública, además apruebo la reproducción de este documento dentro de las regulaciones de la Universidad, siempre y cuando esta reproducción no suponga una ganancia económica y se realice respetando mis derechos de autor.

Ambato, agosto 2024



Alison Odalis Sánchez Balseca
1850477173
AUTORA

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO

Los miembros del Tribunal de Grado aprueban el informe del Trabajo Experimental, realizado por la estudiante Alison Odalis Sánchez Balseca de la carrera de Ingeniería Civil bajo el tema: **"ANÁLISIS COMPARATIVO DEL COMPORTAMIENTO A FLEXIÓN ENTRE VIGAS DE HORMIGÓN ARMADO ELABORADAS CON AGREGADO GRUESO NATURAL Y RECICLADO"**

Ambato, agosto 2024

Para constancia firman:

Ing. Lourdes Gabriela Peñafiel Valla, Mg.
MIEMBRO CALIFICADOR

Ing. María Fernanda Pico Núñez, Mg.
MIEMBRO CALIFICADOR

DEDICATORIA

A mis amados padres,
quienes con su amor inquebrantable y sabiduría
han sido los pilares de mi éxito, este logro también es suyo.

A mi hermana,
quien con sus ocurrencias
ha sido mi fuente constante de amor y alegría.

AGRADECIMIENTOS

A Dios y a la Virgencita de Agua Santa, por concederme la sabiduría y la fortaleza para tomar decisiones acertadas y enfrentar cada desafío a lo largo de este camino. Su guía ha sido mi luz en los momentos difíciles.

A Edwin y Lida, mis queridos padres, quienes con su lucha y sacrificio diario han hecho posible que pueda perseguir y cumplir mis sueños. Su apoyo incondicional ha sido la fuerza que me impulsa detrás de cada paso dado. Gracias por su amor y sabiduría para guiarme en el camino, por creer en mí cuando dudaba de mí misma. Papi y mami, ustedes son el regalo más preciado que la vida me pudo dar; su presencia no solo me ha enseñado el verdadero significado del amor incondicional, sino que también ha sido mi mayor inspiración para ser mejor cada día. Gracias por todo lo que han hecho y continúan haciendo por mí. Estoy eternamente agradecida y bendecida por tenerlos conmigo.

A Nao, mi hermana, mi luz al final del día. Tus ocurrencias y tu apoyo constante han sido mi fuente de ánimo y fortaleza en cada etapa de mi vida.

A mi tía Adelita, mi segunda madre, por haberme abierto las puertas de su hogar, y hacerme sentir parte de su familia, brindándome no solo un techo bajo el cual vivir, sino también un refugio lleno de amor, no puedo sino sentirme bendecida por haberte tenido a mi lado.

Al Ing. Carlos Navarro, por su invaluable guía, dedicación y profundo conocimiento durante la realización de este trabajo experimental. Por creer en mí y en mis capacidades académicas.

A Daniel, quien en este tiempo ha sido un apoyo incondicional en mi vida diaria, que con su amor y comprensión me ah alentando a ser una mejor versión de mí misma. Gracias por estar a mi lado en los buenos y malos momentos, por ser mi confidente y mi mejor amigo.

A mis amigos de facultad, Aldair, Reinaldo, John y Allison por su amistad sincera, juntos hemos compartido risas, lágrimas, desafíos y triunfos en los últimos años. Gracias por su apoyo constante y por los recuerdos inolvidables que hemos creado juntos.

ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS

APROBACIÓN DEL TUTOR ii

AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN iii

DERECHOS DE AUTOR iv

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO v

DEDICATORIA vi

AGRADECIMIENTOS vii

ÍNDICE DE TABLAS xi

ÍNDICE DE FIGURAS xiv

RESUMEN EJECUTIVO xv

ABSTRACT xvi

I. MARCO TEÓRICO 1

A. Antecedentes Investigativos 1

B. Objetivos 4

1) Objetivo General: 4

2) Objetivos Específicos: 4

II. METODOLOGÍA 5

A. Materiales 5

1) Materiales para el desarrollo del Objetivo 1: 5

2) Materiales para el desarrollo del Objetivo 2: 7

3) Materiales para el desarrollo del Objetivo 3: 8

B. Métodos 9

1) Investigación Bibliográfica: 9

2) Obtención de la Materia Prima: 9

3) Ensayos de los Agregados: 11

a) Granulometría: 12

b) Densidad Aparente Suelta y Compactada de los agregados: 12

c) Densidad Combinada de los agregados: 13

d) Densidad real y capacidad de absorción del agregado grueso: 13

e) Densidad real y capacidad de absorción del agregado fino: 14

f) Contenido de Humedad: 14

g) Densidad real del Cemento: 14

4) Fabricación de Vigas: 15
a) Elaboración de moldes para vigas: 15
b) Elaboración del armado de vigas: 15
Acero Mínimo 16
Espaciamiento Acero Longitudinal 17
Espaciamiento Acero Transversal (Estribos) 17
5) Cálculo de Dosificación: 18
a. Método de la densidad Óptima: 18
6) Elaboración de Vigas Definitivas: 21
7) Propiedades del Hormigón en Estado Fresco: 22
a) Trabajabilidad: 22
b) Consistencia: 23
8) Curado del Hormigón: 24
9) Ensayo de Vigas a Flexión en 3 Puntos: 25
10) Módulo de Rotura: 26
11) Análisis de Resultados: 27
III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN 28
A. Propiedades de los Agregados 28
1) Análisis Granulométrico del Agregado Fino: 28
2) Análisis Granulométrico del Agregado Grueso: 29
3) Análisis Granulométrico del Agregado Grueso Reciclado: 30
4) Densidad Real y Capacidad de Absorción del Agregado Fino: 31
5) Densidad Real y Capacidad de Absorción del Agregado Grueso: 32
6) Densidad del Cemento: 33
7) Densidad Aparente Suelta y Compactada del Agregado Fino: 34
8) Densidad Aparente Suelta y Compactada del Agregado Grueso: 34
9) Densidad Aparente Suelta y Compactada de la Mezcla (Agregado Fino y Grueso): 35
10) Contenido de Humedad del Agregado Fino y Grueso: 36
11) Resumen de los Datos Obtenidos en los Ensayos: 37
B. Cálculo de la Dosificación 38
1. Resistencia a la Compresión de Cilindros f'c=240kg/cm2: 41
a) Resistencia a los 7 días: 41
b) Resistencia a los 14 días: 42
c) Resistencia a los 28 días: 43
d) Consolidado de datos Edad vs Resistencia a la Compresión: 44

C. Elaboración de Vigas Definitivas 45
1. Diseño de Armado de Vigas: 45
a) Acero Mínimo: 45
b) Espaciamiento: 46
c) Acero de Refuerzo Transversal y Espaciamiento: 46
D. Resistencia a la Flexión 47
1. Ensayo a Flexión de Vigas con Agregado Natural: 47
2. Ensayo a Flexión de Vigas con Agregado Reciclado: 48
3. Módulo de Rotura de Vigas con Agregado Grueso Natural: 49
4. Módulo de Rotura de Vigas con Agregado Grueso Reciclado: 49
5. Comprobación del Módulo de Ruptura con Límites del 10% al 20% de f'c 50
E. Discusión 51
IV. CONCLUSIONES 53
V. MATERIALES DE REFERENCIA 54
A. Referencias Bibliográficas 54
B. Anexos 58

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA I. MATERIALES PARA EL ENSAYO GRANULOMÉTRICO DE LOS AGREGADOS 5
TABLA II. MATERIALES PARA EL ENSAYO DE CAPACIDAD DE ABSORCIÓN DE LOS AGREGADOS 6
TABLA III. MATERIALES PARA EL ENSAYO DE DENSIDAD APARENTE Y COMPACTADA DE LOS AGREGADOS 7
TABLA IV. MATERIALES PARA EL ENSAYO DE DENSIDAD DEL CEMENTO 7
TABLA V. MATERIALES PARA EL ENSAYO DE CONTENIDO DE HUMEDAD 7
TABLA VI. MATERIALES PARA LA ELABORACIÓN DE VIGAS 7
TABLA VII. MATERIALES PARA EL ENSAYO A FLEXIÓN DE VIGAS 8
TABLA VIII. ENSAYOS Y NORMATIVA 11
TABLA IX. TAMAÑO NOMINAL DE LOS AGREGADOS 12
TABLA X. *DIÁMETRO DE VARILLA COMERCIAL* 16
TABLA XI. NOMENCLATURA PARA LA DOSIFICACIÓN 18
TABLA XII. RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN EN FUNCIÓN A LA RELACIÓN AGUA - CEMENTO 19
TABLA XIII. RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN EN FUNCIÓN A LA RELACIÓN W/C 19
TABLA XIV. CÓDIGO DE ENSAYO PARA CILINDROS A COMPRESIÓN 21
TABLA XV. CÓDIGO DE ENSAYO PARA ENSAYO A FLEXIÓN DE VIGAS CON AGREGADO GRUESO NATURAL 24
TABLA XVI. CÓDIGO DE ENSAYO PARA ENSAYO A FLEXIÓN DE VIGAS CON AGREGADO GRUESO RECICLADO 24
TABLA XVII. RESULTADOS ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DEL AGREGADO FINO 28
TABLA XVIII. RESULTADOS ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DEL AGREGADO GRUESO 29
TABLA XIX. RESULTADOS ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DEL AGREGADO GRUESO RECICLADO 30
TABLA XX. RESULTADOS DENSIDAD REAL DEL AGREGADO FINO 31
TABLA XXI. RESULTADOS CAPACIDAD DE ABSORCIÓN DEL AGREGADO FINO 31

TABLA XXII. RESULTADOS DENSIDAD REAL DEL AGREGADO GRUESO 32
TABLA XXIII. RESULTADOS CAPACIDAD DE ABSORCIÓN DEL AGREGADO GRUESO 32
TABLA XXIV. DENSIDAD DEL CEMENTO 33
TABLA XXV. DENSIDAD APARENTE Y COMPACTADA DEL AGREGADO FINO 34
TABLA XXVI. DENSIDAD APARENTE SUELTA Y COMPACTADA DEL AGREGADO GRUESO 34
TABLA XXVII. DENSIDAD APARENTE SUELTA Y COMPACTADA DE LA MEZCLA 35
TABLA XXVIII. CONTENIDO DE HUMEDAD DEL AGREGADO FINO 36
TABLA XXIX. CONTENIDO DE HUMEDAD DEL AGREGADO GRUESO 36
TABLA XXX. RESUMEN DE DATOS OBTENIDOS EN LOS ENSAYOS 37
TABLA XXXI. DOSIFICACIÓN DEL HORMIGÓN POR DENSIDAD ÓPTIMA 38
TABLA XXXII. DOSIFICACIÓN PARA EL VOLUMEN NECESARIO DE LOS CILINDROS DE HORMIGÓN 39
TABLA XXXIII. CORRECCIÓN DE LA DOSIFICACIÓN POR HUMEDAD 39
TABLA XXXIV. RELACIÓN AGUA CEMENTO SEGÚN LA RESISTENCIA A LOS 28 DÍAS 40
TABLA XXXV. DOSIFICACIÓN AL PESO MEDIANTE EL MÉTODO DE DENSIDADES OPTIMAS 40
TABLA XXXVI. DOSIFICACIÓN POR CANTIDAD POR CADA SACO DE CEMENTO 40
TABLA XXXVII. DOSIFICACIÓN DEFINITIVA PARA PROBETAS A COMPRESIÓN 40
TABLA XXXVIII. RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE CILINDROS A LOS 7 DÍAS 41
TABLA XXXIX. RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE CILINDROS A LOS 14 DÍAS 42
TABLA XL. RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE CILINDROS A LOS 28 DÍAS 43
TABLA XLI. DOSIFICACIÓN TOTAL PARA PROBETAS 45
TABLA XLII. ENSAYO A FLEXIÓN DE VIGAS CON AGREGADO GRUESO NATURAL 47
TABLA XLIII. ENSAYO A FLEXIÓN DE VIGAS CON AGREGADO GRUESO RECICLADO 48

TABLA XLIV. MÓDULO DE ROTURA VIGAS CON AGREGADO GRUESO NATURAL 49
TABLA XLV. MÓDULO DE ROTURA VIGAS CON AGREGADO GRUESO RECICLADO 49

ÍNDICE DE FIGURAS

Fig. 1. Recolección de Escombros de Hormigón vía Ambato - Baños 10
Fig. 2. Recolección de Escombros de Hormigón en los Laboratorios de la FICM. 10
Fig. 3. Planta de trituración de la Constructora Alvarado - Sector las Viñas 10
Fig. 4. Agregado triturado 11
Fig. 5. Encofrado de Vigas 15
Fig. 6. Esquema distribución de viga 17
Fig. 7. Armado de Viga 17
Fig. 8. Ubicación del armado en el encofrado de viga 18
Fig. 9. Probetas patrón para dosificación 21
Fig. 10. Fundición de Vigas 22
Fig. 11. Compactación a 25 golpes 23
Fig. 12. Medición del Asentamiento 23
Fig. 13. Desencofrado de Vigas a las 24h 24
Fig. 14. Curado con Antisol y Forrado con Film plástico 24
Fig. 15. Antisol Experto Concretado 25
Fig. 16. Ensayo a Flexión por 3 Puntos 25
Fig. 17. Carga Intermedia para Ensayo a Flexión por 3 puntos 25
Fig. 18. Resistencia a la Compresión de Cilindros a los 7 días 41
Fig. 19. Resistencia a la Compresión de Cilindros a los 14 días 42
Fig. 20. Resistencia a la Compresión de Cilindros a los 28 días 43
Fig. 21 Consolidado de datos Edad vs Resistencia a la Compresión 44
Fig. 22. Vista A-A' armado de viga 45
Fig. 23. Armado de Viga Tipo 25x25cm 46
Fig. 24. Diagrama Fuerza - Desplazamiento Vigas de Hormigón Armado con Agregado Natural 47
Fig. 25. Diagrama Fuerza - Desplazamiento Vigas de Hormigón Armado con Agregado Reciclado 48

RESUMEN EJECUTIVO

La industria de la construcción ha impactado significativamente al medio ambiente debido a la emisión de gases de efecto invernadero y la extracción de recursos naturales. El hormigón armado, esencial en la construcción, combina hierro y cemento, mejorando la resistencia mecánica. Como respuesta se ha promovido prácticas sostenibles como el reciclaje de materiales de construcción. Esta investigación analiza el rendimiento del hormigón armado utilizando materiales reciclados de desechos de construcción y demolición, evaluando la viabilidad de reemplazar el agregado grueso naturales por agregado reciclados.

Se realizaron ensayos de flexión en vigas de hormigón armado, comparando las propiedades mecánicas de vigas con agregados naturales y reciclados. Las vigas con agregado natural soportaron una carga máxima de 21.56 kN y presentaron un módulo de rotura de 5627.47 MPa, mientras que las vigas con agregado reciclado alcanzaron una carga máxima de 19.62 kN y un módulo de rotura de 5120.80 MPa. El desplazamiento máximo fue de 49.52 mm para vigas con agregado natural y de 22.28 mm para las de agregado reciclado, mostrando mayor ductilidad en las primeras.

El reciclaje y la reutilización de materiales en la construcción, en la producción de nuevos hormigones con agregado reciclado, no solo disminuyen el impacto ambiental y la demanda de recursos naturales, sino que también permite contribuir con los objetivos de desarrollo sostenible, **(Objetivo 11)** en cuanto a la innovación de materiales y ciudades y comunidades sostenibles. La implementación de un sistema eficaz de clasificación y reciclaje es esencial para reutilizar los residuos como materia prima en la fabricación de nuevos materiales de construcción, promoviendo una construcción más sostenible.

Palabras Clave: Hormigón armado, Ensayo a Flexión, Contaminación ambiental, Agregados reciclados, Sostenibilidad.

ABSTRACT

The construction industry has had a significant impact on the environment due to the emission of greenhouse gases and the extraction of natural resources. Reinforced concrete, essential in construction, combines iron and cement, improving mechanical strength. In response, sustainable practices such as the recycling of construction materials have been promoted. This research analyzes the performance of reinforced concrete using recycled materials from construction and demolition waste, evaluating the feasibility of replacing natural coarse aggregate with recycled aggregate.

Flexural tests were performed on reinforced concrete beams, comparing the mechanical properties of beams with natural and recycled aggregates. The beams with natural aggregate withstood a maximum load of 21.56 kN and presented a modulus of rupture of 5627.47 MPa, while the beams with recycled aggregate reached a maximum load of 19.62 kN and a modulus of rupture of 5120.80 MPa. The maximum displacement was 49.52 mm for beams with natural aggregate and 22.28 mm for those with recycled aggregate, showing greater ductility in the former.

The recycling and reuse of materials in construction, in the production of new concrete with recycled aggregate, not only reduces the environmental impact and the demand for natural resources, but also makes it possible to contribute to the sustainable development objectives **(Objective 11)** in terms of innovation of materials and sustainable cities and communities. The implementation of an efficient sorting and recycling system is essential to reuse waste as raw material in the manufacture of new building materials, promoting a more sustainable construction.

Keywords: Reinforced concrete, Flexural testing, Environmental contamination, Recycled aggregates, Sustainability.

I. MARCO TEÓRICO

A. Antecedentes Investigativos

Durante los primeros años del siglo XX, el hormigón armado surgió como un componente crucial en la construcción. A diferencia de los materiales tradicionales, el hormigón se destacó por ser una combinación compuesta de armadura de hierro y mortero de cemento. Aunque los romanos ya utilizaban morteros de cemento, la combinación del hormigón con armadura de hierro le proporcionó una nueva eficiencia, fue valorado por sus propiedades de resistencia mecánica y resistencia al fuego enriqueciendo la expresión arquitectónica [1].

La contaminación del aire proviene de diversas fuentes como vehículos, industrias y procesos de manufactura, emitiendo gases como monóxido y dióxido de carbono. En este contexto, el sector de la construcción, tanto en países desarrollados como en vías de desarrollo, contribuye considerablemente al impacto ambiental debido a la emisión de gases de efecto invernadero asociados al uso de materiales como el cemento y la actividad vehicular intensa. Además, la extracción masiva de recursos como la arena y la grava ha generado una preocupante escasez de estos recursos, superando incluso la extracción de combustibles fósiles en términos de impacto ambiental [2].

En Europa, se generan alrededor de 350 millones de toneladas de residuos de construcción y demolición, siendo el concreto y los escombros los principales componentes, con un tercio de estos residuos destinados a vertederos. En China, la construcción de muros cortina de vidrio ha generado grandes cantidades de residuos debido a su corta vida útil. En Brasil, eventos como la Copa Mundial de Fútbol y los Juegos Olímpicos han provocado un aumento significativo en la generación de residuos de construcción y demolición. La creación de legislaciones para promover el reciclaje de estos residuos es fundamental para mitigar este problema. Investigaciones en países como India y Argelia están explorando el uso de materiales reciclados en la construcción, aunque muchos países carecen de políticas claras para abordar este desafío [3].

Con el paso de los años a nivel mundial la demanda de infraestructura y construcción ha incrementado notablemente, lo que llevo al sector de la construcción a ser considerado uno de los principales contaminantes del medio ambiente, llegando a un aproximado de 1183 millones de toneladas anuales de residuos constructivos. Por lo cual se ha ido experimentado con nuevas prácticas que ayuden a la sostenibilidad y proporcionen segunda vida a algunos de los materiales empleados [4].

Por otro lado, según la Norma Ecuatoriana de Construcción (NEC-SE-HM) el diseño de vigas sometidas a flexión en estructuras de hormigón armado se fundamenta en principios de equilibrio y compatibilidad de deformaciones. Las deformaciones unitarias en el refuerzo y en el hormigón se consideran directamente proporcionales a la distancia desde el eje neutro, salvo en el caso de vigas de considerable altura, donde se emplea un análisis considerando una distribución no lineal de las deformaciones unitarias. La máxima deformación unitaria admisible del hormigón se establece en 0.003. Para el cálculo de elementos sometidos a flexión y carga axial, no se toma en cuenta la resistencia a la tracción del hormigón. Además, la distribución de esfuerzos en el hormigón se modela de manera que pueda prever la resistencia [5].

El hormigón es uno de los materiales con mayor requerimiento a escala mundial por sus características físicas y mecánicas haciendo énfasis en su capacidad de adaptabilidad a diferentes formas y su resistencia a condiciones ambientales desfavorables, pero su uso trae consigo un gran costo ambiental a causa de la cantidad de energía necesaria y emisión de CO2 en su fabricación así también como en su mantenimiento, demolición y generación de residuos. Los residuos producto de la construcción de obras civiles perjudican grandemente al medioambiente, estos tienden a acumularse en rellenos sanitarios y vertederos ya que su descomposición requiere de un tiempo considerable, sin olvidar que en ocasiones estos residuos son desechados en botaderos ilegales que no cuentan con ningún tipo de control o autorización [6].

Dadas las grandes demandas en obras civiles se ha promovido la idea del reciclaje y reutilización de materiales, mayormente para le generación de nuevos hormigones con agregado reciclado de demoliciones y escombros, es decir la sustitución del agregado natural por agregado reciclado, lo que permitirá disminuir tanto el impacto ambiental generado en lo vertederos y botaderos ilegales como la extracción de rocas utilizadas para satisfacer las necesidades de agregado natural, también hay que tomar en cuenta que al reutilizar no solamente se estará ayudando al ecosistema sino también a la calidad de vida de los seres humanos ya que existirá un ahorro de recursos naturales y no renovables como el agua y el aire, así como también como recursos económicos [7].

El hormigón, es considerado como el segundo material con más demanda, pero desaprovechamiento genera focos infecciosos y contaminación el suelo [8]. Es crucial

implementar un sistema de clasificación y reciclaje para reutilizar los residuos como materia prima en la fabricación de nuevos materiales de construcción.

La construcción sostenible busca satisfacer las necesidades actuales sin comprometer el futuro. La industria de la construcción y el cemento generan el 40% de las emisiones globales y demandan igual proporción de materias primas. Se investigan alternativas para producir hormigones con agregados reciclados, mezclas cementicas con subproductos industriales y fibras de acero de neumáticos reciclados. Estas medidas tienen el potencial de hacer la construcción más sostenible y reducir su impacto ambiental [9].

El reciclado del hormigón para obtención agregado grueso comprende la recolección de residuos de construcción, su trituración inicial y secundaria para reducir su tamaño, la separación magnética para eliminar materiales ferrosos, clasificación y lavado para eliminar impurezas. Los agregados resultantes se almacenan cuidadosamente y pueden ser empleados como sustitutos parciales o totales de los agregados convencionales en nuevas mezclas de concreto. Contribuyendo así a la sostenibilidad ambiental al reducir la demanda de recursos naturales y minimizar la acumulación de residuos en vertederos [10].

El propósito de esta investigación es desarrollar vigas de hormigón armado mediante la utilización de materiales reciclados procedentes de los desechos generados en procesos de demolición. Este procedimiento implica la trituración de dichos materiales con el fin de generar agregados gruesos y finos. El objetivo principal es validar la posibilidad de obtener una resistencia estructural funcional en el hormigón resultante, al mismo tiempo que se confirme su capacidad para ser implementado en construcciones ecofriendly. Sin embargo, para poder adoptar esta práctica de manera efectiva, es crucial entender a fondo cómo se comportan las vigas de hormigón armado, tanto en términos de su resistencia estructural como de su impacto en el entorno.

B. Objetivos

1) Objetivo General:

Comparar el comportamiento a flexión de vigas de hormigón armado elaboradas con agregado grueso natural y reciclado.

2) Objetivos Específicos:

Realizar ensayos de laboratorio con material natural y material derivado de la reutilización de hormigón para determinar sus propiedades físicas y mecánicas.

Elaborar vigas de hormigón armado con agregado natural y reciclado para determinar su resistencia a flexión.

Analizar los resultados obtenidos de los ensayos de vigas de hormigón armado con material natural y reciclado.

II. METODOLOGÍA

En este proyecto se utilizará una metodología cuantitativa experimental para determinar las propiedades mediante un ensayo a flexión de vigas de hormigón armado elaboradas con agregado grueso reciclado para así compararlas con las características de vigas de hormigón armado elaboradas con agregado tradicional.

A. Materiales

Para llevar a cabo este trabajo experimental, se recurrió a los materiales básicos necesarios para la preparación de cualquier tipo de hormigón, sin incluir las herramientas menores que también fueron empleadas durante el proceso, los materiales se detallaran de acuerdo con cada objetivo planteado, cabe recalcar que todos los materiales y equipos que se utilizaron pertenecen a los laboratorios de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica, los cuales se detallaran de acuerdo con lo utilizado en cada uno de los objetivos planteados en el proyecto.

1) Materiales para el desarrollo del Objetivo 1:

Objetivo 1: Realizar ensayos de laboratorio con material natural y material derivado de la reutilización de hormigón para determinar sus propiedades físicas y mecánicas.

Inicialmente se recolectó la materia prima, es decir, el agregado fino y agregado grueso natural, se utilizó arena negra y ripio de tamaño ¾ ambos materiales provenientes de la mina de la Constructora Alvarado ubicada en el sector de la Viñas en la ciudad de Ambato. También se llevó a cabo un recorrido a lo largo de la carretera Ambato – Baños para la recolección de escombros de hormigón ya que a lo largo de esta vía se encuentran varios botaderos de escombros ilegales, de igual forma se utilizaron probetas de hormigón pertenecientes al depósito de escombros de los Laboratorios de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica, el material recolectado fue trasladado hasta la planta trituradora perteneciente a la Constructora Alvarado, en el proceso de trituración los agregados reciclados tomaron un tamaño de 1 a ¾ de pulgada. El cemento utilizado es cemento portland “Chimborazo” tipo GU.

TABLA I.
MATERIALES PARA EL ENSAYO GRANULOMÉTRICO DE LOS AGREGADOS

ENSAYO: Análisis granulométrico del agregado grueso	
Material	**Detalle**
Horno Eléctrico	- Marca: Humboldt - Voltaje: 110 V - Temperatura regulable hasta 232 °C
Tamices Metálicos	- Tamaño: 1 1/2”, 1”, 3/4”, 1/2”, 3/8”, #4 y bandeja

	- Dimensiones: 50 x 50cm
Balanza Electrónica	- Marca: Boeco - Unidad: Kg
ENSAYO: Análisis granulométrico del agregado fino	
Material	**Detalle**
Horno Eléctrico	- Marca: Humboldt - Voltaje: 110 V - Temperatura regulable hasta 232 °C
Tamices Metálicos	- Tamaño: 3/8”, #4, #8, #16, #30, #50, #100, #200 y bandeja - Diámetro: 25cm
Tamizadora Eléctrica	- Marca: Controls - Capacidad: 15 tamices
Balanza Electrónica	- Marca: Boeco - Unidad: Gr

TABLA II.

MATERIALES PARA EL ENSAYO DE CAPACIDAD DE ABSORCIÓN DE LOS AGREGADOS

ENSAYO: Densidad real y capacidad de absorción de agregado grueso	
Material	**Detalle**
Horno Eléctrico	- Marca: Humboldt - Voltaje: 110 V - Temperatura regulable hasta 232 °C
Canastilla Metálica	- Malla #8 - Dimensiones: 20.3 x 20.3 cm
Balanza Electrónica	- Marca: Boeco - Unidad: Kg
ENSAYO: Densidad real y capacidad de absorción de agregado fino	
Material	**Detalle**
Horno Eléctrico	- Marca: Humboldt - Voltaje: 110 V - Temperatura regulable hasta 232 °C
Balanza Electrónica	- Marca: Boeco - Unidad: Kg
Picnómetro y Pipeta	- Material: Vidrio - Volumen: 500ml
Cono de absorción y pisón	- Material del cono: Bronce - Material del pisón: Acero - Diámetro del cono: 40 x 90 x 70 mm - Diámetro del pisón: 25.5 x 170 mm

TABLA III.
MATERIALES PARA EL ENSAYO DE DENSIDAD APARENTE Y COMPACTADA DE LOS AGREGADOS

ENSAYO: Densidad aparente y compactado de los agregados fino y grueso	
Material	**Detalle**
Balanza Electrónica	- Marca: Boeco - Unidad: Kg
Molde metálico para densidad aparente	- Diámetro: 30cm
Varilla Compactadora	- Dimensiones: 6.1 x 1.6 cm

TABLA IV.
MATERIALES PARA EL ENSAYO DE DENSIDAD DEL CEMENTO

ENSAYO: Densidad del cemento	
Material	**Detalle**
Gasolina	- Gasolinera Pétreos y Servicios
Picnómetro y Pipeta	- Material: Vidrio - Volumen: 500ml
Balanza Electrónica	- Marca: Boeco - Unidad: gr

TABLA V.
MATERIALES PARA EL ENSAYO DE CONTENIDO DE HUMEDAD

ENSAYO: Contenido de Humedad del agregado fino y grueso	
Material	**Detalle**
Horno Eléctrico	- Marca: Humboldt - Voltaje: 110 V - Temperatura regulable hasta 232 °C

2) Materiales para el desarrollo del Objetivo 2:

Objetivo 2: Elaborar vigas de hormigón armado con agregado natural y reciclado para determinar su resistencia a flexión.

TABLA VI.
MATERIALES PARA LA ELABORACIÓN DE VIGAS

Material	**Detalle**
Moldes para Vigas	- Material: Madera - Dimensiones: 2 x 0.25 x 0.25 m
Acero Estructural	- Varilla Longitudinal Longitud: 1.95m Pata: 14.5cm

	Diámetro: 12mm - Estribos Longitud: 20cm Pata: 7.5cm Diámetro: 10mm
Cono de Abrams	- Dimensiones: Base superior de 100mm Base inferior de 200mm Altura de 300mm
Concretera a Gasolina	- Voltaje: De 110 a 220V
Vibrador de concreto a Gasolina	- Potencia: 6.5 hp - Diámetro tanque: 3.6 l - Diámetro del vástago: 38 mm. - Diámetro del chicote: 13 mm. - Longitud del chicote: 6.30 mts.
Varilla Compactadora	- Dimensiones: 60.1 x 1.6 cm
Martillo de goma	- Material: Caucho sintético
Cámara de curado	- Temperatura: 23 °C ± 2°C - Dimensiones: Base superior de 100mm Base inferior de 200mm Altura de 300mm

3) Materiales para el desarrollo del Objetivo 3:

Objetivo 3: Analizar los resultados obtenidos de los ensayos de vigas de hormigón armado con material natural y reciclado.

TABLA VII.
MATERIALES PARA EL ENSAYO A FLEXIÓN DE VIGAS

Material	Detalle
Máquina de compresión y Flexión	- Máquina hidráulica a prueba de explosiones - Marca Shimadzu, software: Trapezium X - Capacidad: 40 a 200 KN
Placa de Soporte	- Dimensiones: Longitud: 2.40m Ancho: 25cm Espesor: 3cm

B. Métodos

El presente trabajo experimental se dividió en 3 Fases las cuales se detallarán a continuación:

FASE 1

1) Investigación Bibliográfica:

En esta fase, se realizó una exhaustiva revisión de los distintos enfoques relacionados con el hormigón convencional y el hormigón elaborado con material reciclado, respaldando así los procedimientos, cálculos y ensayos pertinentes. Esta investigación bibliográfica abarca la exploración detallada de fuentes como libros, revistas especializadas, artículos científicos, normativas nacionales e internacionales. De forma que estos recursos nos proveyeron una base sólida para el desarrollo del presente trabajo experimental, al abordar las etapas de investigación, interpretación y análisis necesarias para alcanzar los objetivos planteados.

2) Obtención de la Materia Prima:

Como primer paso, se procedió a la adquisición de los materiales necesarios, arena negra como agregado fino y ripio tanto natural como triturado de ¾ de pulgada como agregado grueso. Tanto la arena como el ripio natural fueron obtenidas de la mina en el sector de Las Viñas, una zona de la ciudad de Ambato reconocida por su actividad minera, la compra se realizó en la mina de la Constructora Alvarado, donde se adquirió 5 sacos de aren y 5 sacos de ripio natural. Respecto al agregado grueso reciclado, se obtuvo a partir de residuos generados por la industria de la construcción desechados en botaderos ilegales, para lo cual se realizó una trayectoria de recolección a lo largo de la vía Ambato – Baños ya que este sector se pueden encontrar varios botaderos de escombros ilegales, también se utilizaron probetas de hormigón pertenecientes al depósito de escombros de los Laboratorios de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica. Estos residuos se almacenaron temporalmente para luego ser enviados a una planta trituradora en la ciudad de Ambato, de igual forma perteneciente a la Constructora Alvarado en el sector de Las Viñas para obtener un tamaño de ¾ de pulgada. El objetivo de este trabajo experimental es reducir el impacto ambiental asociado con los residuos de la construcción, específicamente los agregados gruesos reciclados, mediante su reutilización en la producción de hormigón, contribuyendo así a la disminución de la cantidad total de desechos.



Fig. 1*. Recolección de Escombros de Hormigón vía Ambato - Baños*



Fig. 2*. Recolección de Escombros de Hormigón en los Laboratorios de la FICM.*



Fig. 3. *Planta de trituración de la Constructora Alvarado - Sector las Viñas*



Fig. 4. *Agregado triturado*

3) Ensayos de los Agregados:

En esta etapa de la fase 1, y tal vez la más importante, nos basamos en la manipulación y control de resultados durante los ensayos para observar la respuesta de los materiales. Se llevaron a cabo pruebas para determinar las propiedades de los áridos finos y gruesos, como granulometría, densidades y capacidad de absorción, así como pruebas de densidad para el cemento. Además, se realizaron ensayos para evaluar las propiedades mecánicas de los agregados según las normativas correspondientes.

TABLA VIII.
ENSAYOS Y NORMATIVA

ENSAYO	NORMATIVA
Granulometría	ASTM C 136 NTE INEN 696
Contenido de humedad	ASTM C 566 NTE INEN 862
Densidad real del cemento	ASTM C 188 NTE INEN 156
Densidad combinada de los agregados	ASTM C 566 NTE INEN 858
Densidad real y capacidad de absorción del agregado fino	ASTM C 128 NTE INEN 856
Densidad real y capacidad de absorción del agregado grueso	ASTM C 127 NTE INEN 857
Densidad aparente suelta y compactada de los agregados	ASTM C 188 NTE INEN 858

a) Granulometría:

Este método de prueba se emplea para determinar la distribución de tamaño de las partículas de los materiales en uso como agregados. Los resultados se utilizan para verificar si la distribución cumple con los requisitos especificados en la Norma NTE INEN 696 [11]

TABLA IX.
TAMAÑO NOMINAL DE LOS AGREGADOS

Tamaño Nominal Máximo			
Árido Fino		**Árido Grueso**	
(mm)	**(in)**	**(mm)**	**(in)**
9.50	3/8	50.80	2
4.75	N4	38.10	1 ½
2.36	N8	26.67	1
1.18	N16	18.85	¾
600	N30	13.32	½
300	N50	9.50	3/8
150	N100	0.15	4

NOTA: Obtenido de Norma NTE INEN 696 [11]

b) Densidad Aparente Suelta y Compactada de los agregados:

La densidad aparente de los agregados se refiere a la relación entre su peso y el volumen que ocupan, sin considerar los espacios vacíos entre las partículas. La densidad aparente suelta se obtiene cuando los agregados se encuentran en su estado natural, sin compactación alguna, lo que implica que pueden contener espacios vacíos entre ellas. Por otro lado, la densidad aparente compactada se logra al someter los agregados a un proceso de compactación, reduciendo los espacios vacíos entre las partículas y aumentando su densidad Todo esto de acuerdo con la norma NTE INEN 858 [12]. Estas mediciones son cruciales para determinar la cantidad de material requerida en la preparación de mezclas de concreto.

$$Densidad\ Aparente\ Suelta\ Compactada = \frac{Mm}{Vm} \qquad (Ec.1)$$

Dónde:

Mm = Masa total de la muestra del agregado
Vm = Volumen total ocupado por la muestra del agregado

c) Densidad Combinada de los agregados:

Este ensayo se utilizó para determinar la relación entre el peso y el volumen de los materiales, tanto en su estado suelto como compactado. Según la Norma NTE INEN 858 [12], se busca determinar la densidad del material mediante una mezcla de grava y arena. Se adiciona gradualmente agregado fino hasta alcanzar una proporción específica de 40% de grava y 60% de arena, como indicado en la tabla 8. Durante la adición de arena, se compacta la mezcla en tres capas con 25 golpes cada una, luego se registran los pesos y volúmenes para calcular la densidad. Con los promedios obtenidos, se elabora una curva para identificar la densidad máxima y los porcentajes óptimos de la mezcla, lo que permite determinar una dosificación adecuada.

d) Densidad real y capacidad de absorción del agregado grueso:

Este ensayo tiene como propósito definir la densidad real de los materiales pétreos y su habilidad para absorber agua. Para llevar a cabo este procedimiento, se toma una muestra del agregado grueso y se sumerge completamente en agua durante un tiempo determinado. Luego de retirar la muestra, se seca superficialmente y se registra su peso nuevamente para calcular la densidad real del agregado y su capacidad de absorción de agua. Esto según la norma NTE INEN 857 [13].

La capacidad de absorción es la cantidad de agua que puede retener el agregado después de estar sumergido durante 24 horas. Este valor varía entre el 0,2% y el 4% para agregados gruesos [14].

$$DRA = \frac{M_{sss}}{V_{material}} \qquad \textit{(Ec.2)}$$

$$DRR = \frac{M_{sss}}{\frac{M_{sss} - M_{agua}}{Densidad\ del\ agua}} \qquad \textit{(Ec.3)}$$

$$CA(\%) = \frac{M_{sss} - M_{seco}}{M_{seco}}\ x\ 100 \qquad \textit{(Ec.4)}$$

Dónde:
DRA = Densidad real de la arena
DRR = Densidad real del ripio
CA(%) = Porcentaje de Capacidad de Absorción
Msss = Masa en condición saturada superficie seca
M agua = Masa en contacto con el agua
M saco = Masa en condición seca

e) Densidad real y capacidad de absorción del agregado fino:

Este ensayo de agregado fino se refiere a su verdadera densidad y a la cantidad de agua que puede retener. La densidad real se determina mediante la comparación de su peso en aire y en agua, mientras que la capacidad de absorción se calcula sumergiendo el agregado en agua durante un periodo específico y registrando el cambio de peso. Según la norma NTE INEN 256 [15].

La capacidad de absorción es la cantidad de agua que puede retener el agregado después de estar sumergido durante 24 horas. Este valor varía entre 0,2% y el 2% para material fino [14].

$$DRA = \frac{M_{sss}}{V_{sss}} \qquad \textit{(Ec.5)}$$

Dónde:
DRA = Densidad real de la arena
Msss = Masa en condición saturada superficie seca
Vsss = Volumen del agua

f) Contenido de Humedad:

El contenido de humedad se refiere a la cantidad de agua presente en el suelo en un tiempo específico. Al expresar como como un porcentaje de la muestra que ha sido secada al horno, se la denomina como contenido de humedad porcentual [16]. La caracterización del suelo utilizado se realizó, según la norma NTE INEN 862 [17].

$$\%CH = \frac{Ww}{Ws} x100 \qquad \textit{(Ec.6)}$$

Dónde:
%CH = Porcentaje de Contenido de Humedad
Ww = Peso del agua
Ws = Peso de la muestra seca

g) Densidad real del Cemento:

La densidad real del cemento se determina utilizando el método del picnómetro, que implica medir el peso del cemento masa por unidad de volumen en un líquido no reactivo como la gasolina [15].

$$\rho c = \frac{W_c}{\left(W_{p+g} - W_p + W_c - W_{p+c+g}\right) * \rho_g} \qquad \textit{(Ec.7)}$$

Dónde:
pc = Densidad del cemento.
Wc = Peso del cemento añadido.
Wp = Peso del picnómetro vacío.
$Wp+g$ = Peso del picnómetro lleno de gasolina.
Wp+c+g = Peso del picnómetro con cemento y gasolina hasta el mismo nivel que cuando se midió
pg = Densidad de la gasolina

Una vez que se realizaron todos los ensayos necesarios para cada uno de los agregados se procede a la realización de las vigas, lo cual se detallara en la Fase 2.

FASE 2

4) Fabricación de Vigas:

a) Elaboración de moldes para vigas:

Para la elaboración de vigas, fue necesario confeccionar moldes adecuados. Los cuales fueron realizados con madera o tabla de encofrado los cuales fueron confeccionado con las siguientes dimensiones: 25cm de altura, 25 cm de ancho y 2m de longitud. Dada la longitud de las vigas también se tomó la decisión de ajustar la parte central del encofrado con pequeños pedazos de madera, los cuales no permitirán que al poner la mezcla de hormigón estos moldes se expandan. Esta solución permitió llevar a cabo el proceso de elaboración de las vigas de manera efectiva.



Fig. 5*. Encofrado de Vigas*

b) Elaboración del armado de vigas:

Inicialmente se realizó un diseño de una viga de hormigón armado para 25 cm de ancho, 25 cm de alto y 2 m de largo con el mínimo acero necesario. Se calculó el área de acero de

refuerzo requerida, asegurándonos de que cumpla con los estándares mínimos. Se distribuyó las barras de refuerzo longitudinalmente y se diseñó la distribución los estribos para el refuerzo transversal.

Acero Mínimo

El acero mínimo en una viga es la cantidad esencial de refuerzo necesaria para asegurar que la viga pueda soportar cargas de manera efectiva, controlar la formación de fisuras y prevenir fallas. Este refuerzo mínimo proporciona ductilidad y seguridad estructural, garantizando la capacidad de carga adecuada y mejorando la durabilidad y el rendimiento de la viga [18].

$$As_{min} = \frac{14}{fy} b_w * d \qquad \textit{(Ec.8)}$$

Dónde:
Asmin = Área mínima de refuerzo de flexión
fy = Resistencia especificada a la fluencia del refuerzo
d = Distancia desde la fibra extrema en compresión hasta el centroide del refuerzo longitudinal en tracción
bw = Ancho del alma o diámetro de la sección circular

TABLA X.

DIÁMETRO DE VARILLA COMERCIAL

Diámetro (mm)	Sección (cm2)	Peso (Kg/m)
6	0.283	0.222
8	0.503	0.395
10	0.785	0.617
12	1.131	0.888
16	2.011	1.578
20	3.142	2.466
25	4.909	3.853
32	8.042	6.313
40	12.566	9.865

Espaciamiento Acero Longitudinal

$$e = \frac{b - 2r - db * \#barras}{\#espacios} \quad (Ec.9)$$

Dónde:
e = Espaciamiento
b = base de viga
r = recubrimiento
d = Peralte efectivo

Espaciamiento Acero Transversal (Estribos)

$$s \leq \frac{d}{4} \quad (Ec.10)$$

$$s \leq 6 * \emptyset menor \quad (Ec.11)$$

$$s \leq 20cm \quad (Ec.12)$$

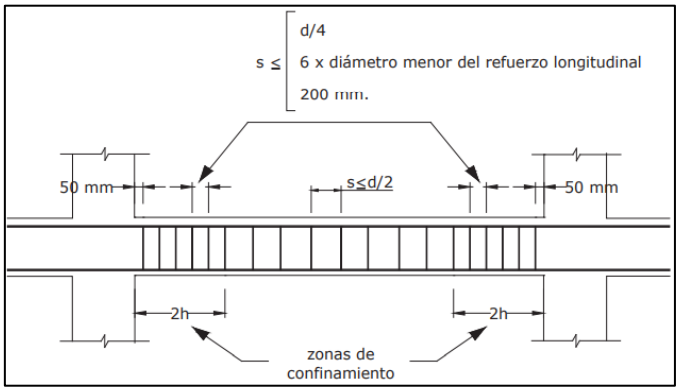


Fig. 6. *Esquema distribución de viga*

Ya que el armado de la viga se realizó con el acero mínimo requerido se utilizó varilla de 12mm y 10mm para el acero longitudinal y los estribos correspondientemente. En la zona de confinamiento de ubicaron los estribos cada 5.5cm y en la parte central de viga cada 10cm.



Fig. 7*. Armado de Viga*



Fig. 8. *Ubicación del armado en el encofrado de viga*

5) Cálculo de Dosificación:

a. Método de la densidad Óptima:

Para el cálculo de las dosificaciones, se utilizó el método de Densidad Optima desarrollado por la Universidad Central del Ecuador [19], lo que permitió determinar las cantidades adecuadas de agua, cemento y agregados necesarias para nuestras vigas. Para facilitar la comprensión de las fórmulas presentadas en el siguiente procedimiento, se incluirá una tabla con la nomenclatura utilizada.

TABLA XI.
NOMENCLATURA PARA LA DOSIFICACIÓN

NOMENCLATURA			
DRC	Densidad Real del Cemento	**CP**	Cantidad de Pasta
DRA	Densidad Real de la Arena	**C**	Cantidad de Cemento
DRR	Densidad Real de Ripio	**W**	Cantidad de Agua
DSA	Densidad Suelta de la Arena	**A**	Cantidad de Arena
DSR	Densidad Suelta del Ripio	**R**	Cantidad de Ripio
POA	Porcentaje Óptimo de la Arena	**CP (%)**	Cantidad de Pasta en %
POR	Porcentaje Óptimo del Ripio	**DRM**	Densidad Real de la Mezcla
DOM	Densidad Óptimo de la Mezcla	**POV**	Porcentaje Óptimo de Vacíos
W/C	Relación Agua Cemento		

a) Se estableció la relación agua/cemento basándose en la resistencia a la compresión del hormigón a los 28 días.

TABLA XII.
RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN EN FUNCIÓN A LA RELACIÓN AGUA - CEMENTO

F'c (Mpa)	Relación agua / cemento
45	0.37
42	0.40
40	0.42
35	0.46
32	0.50
30	0.51
28	0.52
25	0.55
24	0.57
21	0.58
18	0.60

b) Se calculó la densidad real de la combinación de agregados.

$$DRM = \frac{DRA * POA + DRR * POR}{100} \qquad \textit{(Ec.13)}$$

c) Se determinó el porcentaje óptimo de vacíos.

$$POV = \frac{DRM - DOM}{DRM} * 100 \qquad \textit{(Ec.14)}$$

d) Se calculó la cantidad adecuada de pasta de cemento.

TABLA XIII.
RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN EN FUNCIÓN A LA RELACIÓN W/C

ASENTAMIENTO (CM)	CANTIDAD DE PASTA (%)
0 -3	POV + 2%+3%(POV)
3 – 6	POV + 2%+6%(POV)
6 - 9	POV + 2%+8%(POV)
9 – 12	POV + 2%+11%(POV)
12 - 15	POV + 2%+13%(POV)

e) Se calcularon las cantidades necesarias de cemento, agua, arena y ripio para producir 1 m3 de hormigón.

- Cantidad de Cemento (C)

$$C = \frac{CP}{\frac{W}{C} + \frac{1}{DRC}} \quad \textit{(Ec.15)}$$

- Cantidad de Agua (W)

$$W = \frac{W}{C} * C \quad \textit{(Ec.16)}$$

- Cantidad de Arena (A)

$$A = (100 - CP) * \frac{DRA * POA}{100} \quad \textit{(Ec.17)}$$

- Cantidad de Ripio (R)

$$R = (100 - CP) * \frac{DRR * POA}{100} \quad \textit{(Ec.18)}$$

- Dosificación al peso

$$Dosificación\ (WCAR) = \frac{Cantidad\ de\ material\ (WARC)\ m3}{Cantidad\ de\ Cmento\ (C)} \quad \textit{(Ec.19)}$$

f) Se realizó finalmente una corrección por humedad del agregado fino y grueso según las normas NTE INEN 856 y 857, esto una vez que se determinó el contenido de humedad de ambos agregados.

$$A = Peso = \frac{100 + \%\ de\ humedad\ de\ la\ arena}{100 + \%\ de\ absorción\ de\ la\ arena} \quad \textit{(Ec.20)}$$

$$R = Peso = \frac{100 + \%\ de\ humedad\ del\ ripio}{100 + \%\ de\ absorción\ del\ ripio} \quad \textit{(Ec.21)}$$

Se utilizó las proporciones establecidas para los componentes del hormigón y se calculó la cantidad total requerida para el número de probetas deseado. Antes de la mezcla, se obtuvo y corrigió la humedad en el ripio y la arena. Este proceso nos permitió avanzar de manera efectiva en la preparación de los materiales necesarios para nuestras vigas.

Una vez que se calculó la dosificación se realizaron 9 cilindros para comprobación de la resistencia inicial, intermedia y máxima correspondiente a los 7, 14 y 28 días. El objetivo fue verificar si la dosificación calculada cumplía con la resistencia de diseño requerida.

TABLA XIV.
CÓDIGO DE ENSAYO PARA CILINDROS A COMPRESIÓN

Cilindros a Compresión para confirmación de la dosificación		
Código	**Número**	**Días**
CC-1	1	7
CC-2	1	7
CC-3	1	7
CC-4	1	14
CC-5	1	14
CC-6	1	14
CC-7	1	28
CC-8	1	28
CC-9	1	28
TOTAL	**9**	



Fig. 9. *Probetas patrón para dosificación*

6) Elaboración de Vigas Definitivas:

Una vez obtenida una dosificación favorable que cumplía con los requisitos de resistencia, comenzamos a elaborar las probetas definitivas. Para la elaboración de vigas de hormigón natural y reciclado definitivas, se consideró un reemplazo del 100% del agregado reciclado para el hormigón, así como también se elaboraron vigas con agregado grueso natural igualmente al 100%, para así realizar la comparación necesaria. Estas vigas fueron sometidas a ensayos a los 7, 14 y 28 días de edad.



Fig. 10. *Fundición de Vigas*

7) Propiedades del Hormigón en Estado Fresco:

Medir la trabajabilidad del concreto es esencial para su correcta colocación y compactación, asegurar una mezcla uniforme, lograr un buen acabado superficial y mejorar la durabilidad y resistencia de la estructura

a) Trabajabilidad:

La trabajabilidad del hormigón, se refiere a la facilidad con la que la mezcla puede ser manipulada, colocada y consolidada adecuadamente. Esta propiedad es crucial para la calidad del hormigón para asegurar que el hormigón cumpla con los requisitos de resistencia y durabilidad.

- **Factores Influyentes**

Relación Agua-Cemento: Más agua mejora la trabajabilidad, pero reduce la resistencia.

Agregados: Bien graduados y redondeados mejoran la mezcla.

Temperatura: Altas temperaturas disminuyen la trabajabilidad, mientras que bajas la aumentan.

- **Clasificación**

Baja Trabajabilidad: Para estructuras masivas.

Media Trabajabilidad: Adecuada para la mayoría de las construcciones.

Alta Trabajabilidad: Necesaria en estructuras complejas y densamente reforzadas [20].

b) Consistencia:

La consistencia del hormigón se evaluó con el ensayo de asentamiento, establecido por la norma ASTM C 143, Este método ofrece una manera rápida de medir la fluidez del hormigón fresco.

Este método utiliza el llamado Cono de Abrams para medir la fluidez de la mezcla fresca. Se llena el cono en tres capas y se compacta cada una con 25 golpes con la ayuda de una varilla compactadora. La diferencia entre la altura original del cono y la altura del hormigón asentado sería el "asentamiento", indicando la trabajabilidad del hormigón.

- Baja (1-2 pulgadas)
- Media (3-4 pulgadas)
- Alta (5-7 pulgadas)

Con este método se puede garantizar que el hormigón tendrá la consistencia adecuada previniendo la separación de los materiales y asegurando la resistencia.



Fig. 11. *Compactación a 25 golpes*



Fig. 12. *Medición del Asentamiento*

8) Curado del Hormigón:

Después de 24 horas de elaboradas, las vigas fueron retiradas de los moldes de encofrado. Dado el tamaño y peso de las vigas para el curado de las mismas, se utilizó un aditivo "Antisol" de la marca Sika y después forradas con film plástico, ya que estarás expuestas al ambiente. En total, se elaboraron 6 vigas para este trabajo experimental.

TABLA XV.
CÓDIGO DE ENSAYO PARA ENSAYO A FLEXIÓN DE VIGAS CON AGREGADO GRUESO NATURAL

Vigas de Hormigón Armado con Agregado Grueso Natural		
Código	**Número**	**Días**
VN-7	1	7
VN-14	1	14
VN-28	1	28
TOTAL	**3**	

TABLA XVI.
CÓDIGO DE ENSAYO PARA ENSAYO A FLEXIÓN DE VIGAS CON AGREGADO GRUESO RECICLADO

Vigas de Hormigón Armado con Agregado Grueso Reciclado		
Código	**Número**	**Días**
VR-7	1	7
VR-14	1	14
VR-28	1	28
TOTAL	**3**	



Fig. 13. *Desencofrado de Vigas a las 24h*

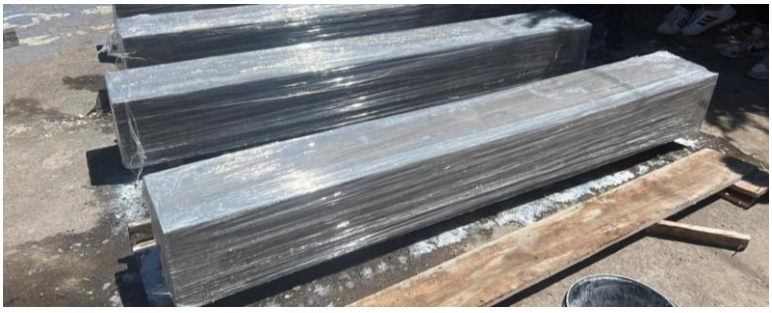


Fig. 14. *Curado con Antisol y Forrado con Film plástico*



Fig. 15. *Antisol Experto Concretado*

9) Ensayo de Vigas a Flexión en 3 Puntos:

El ensayo de vigas de concreto armado a tres puntos bajo la norma ASTM C-2936 busca determinar la resistencia a la flexión, crucial para el diseño y evaluación estructural del concreto reforzado con acero. Utilizando una máquina de ensayo universal, se aplica carga controlada sobre la viga colocada con la cara inferior hacia arriba, hasta que falle. Este método estandarizado proporciona datos precisos sobre la capacidad de la viga para resistir fuerzas de flexión [21].



Fig. 16*. Ensayo a Flexión por 3 Puntos*



Fig. 17. *Carga Intermedia para Ensayo a Flexión por 3 puntos*

10) Módulo de Rotura:

El módulo de rotura en el concreto armado es fundamental para evaluar su capacidad de resistencia a la flexión antes de fracturarse. Se determina mediante ensayos de flexión, donde se aplica una carga gradual hasta que la viga falle.

La resistencia del concreto, la disposición del refuerzo de acero, la adherencia entre el concreto y el acero, y las condiciones de curado juegan un papel decisivo en esta propiedad. El cálculo del módulo de rotura se realiza considerando la carga máxima aplicada y las dimensiones específicas de la viga, proporcionando datos esenciales para el diseño seguro y eficiente de estructuras de concreto armado [22].

$$fr = \frac{3PL}{2bd^2} \qquad \textit{(Ec.22)}$$

Dónde:
fr = Resistencia a la flexión o módulo de ruptura.
P = Carga máxima aplicada justo antes de la falla de la viga.
L = Distancia entre los apoyos (luz de la viga).
b = Ancho de la viga.
d = Peralte efectivo

Una vez calculado el módulo de rotura para cada una de las vigas ensayadas se realizó la verificación de la resistencia a los 28 días utilizando los siguientes limites en función a f'c.

- Límite Inferior

$$f_r \min = 0.10\, f'c$$

- Límite Superior

$$f_r \max = 0.20\, f'c$$

Dónde el módulo de rotura debe encontrarse dentro de los valores encontrados de la siguiente forma

$$0.10\, f'c \; < fr < 0.20\, f'c$$

Una vez que se realizaron los cálculos necesarios para concluir con la parte experimental se procedió a realizar el análisis de resultados.

FASE 3

11) Análisis de Resultados:

Con el fin de obtener un punto de comparación entre las vigas elaboradas se realizaron probetas patrón para la comprobación de la dosificación para un f'c de 240kg/cm2 las cuales fueron ensayadas a compresión a los 7, 14 y 28 días de edad para tener registro de que estas llegaron a la resistencia esperada. Una vez que esta mezcla cumplió con lo esperado se procedió a la realización de las vigas definitivas tanto las que tendrán el agregado grueso natural como las que llevarán el agregado reciclado. Para la tabulación de los datos se realizaron gráficas comparativas del comportamiento a flexión de las vigas ensayadas a los 7, 14 y 28 días de edad. Estas gráficas nos proporcionaron una visualización clara de cómo varía la resistencia del hormigón en función del remplazo del material reciclado utilizado en su elaboración. Este análisis comparativo nos brindó información valiosa para evaluar el desempeño del hormigón reciclado en relación con el hormigón tradicional y para tomar decisiones informadas sobre su implementación en proyectos futuros.

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En este capítulo se presentarán los resultados obtenidos en la investigación, siguiendo los objetivos establecidos. Se utilizan gráficos y tablas para una mejor comprensión.

A. Propiedades de los Agregados

1) Análisis Granulométrico del Agregado Fino:

TABLA XVII.

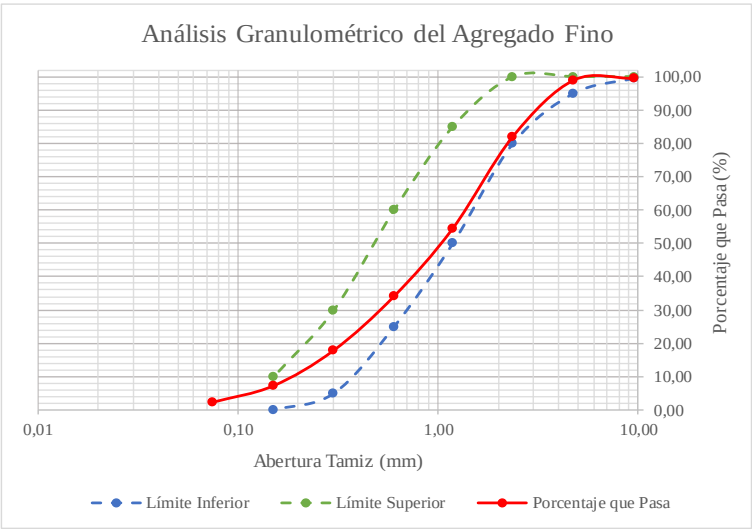
RESULTADOS ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DEL AGREGADO FINO

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

"ANÁLISIS COMPARATIVO DEL COMPORTAMIENTO A FLEXIÓN ENTRE VIGAS DE HORMIGÓN ARMADO ELABORADAS CON AGREGADO GRUESO NATURAL Y RECICLADO"

Análisis Granulométrico del Agregado Fino

Origen:		Las Viñas						
Fecha:		18 de Abril 2024						
Ensayado por:		Sánchez Balseca Alison Odalis						
Norma:		NTE INEN 696:2010 / ASTM C-136						
Muestra (gr):		600,10		**Pérdida de la muestra:**		0,02%		
Tamiz (pulgadas)	**Tamiz (mm)**	**Retenido Parcial (gr)**	**Retenido Acumulado (gr)**	**Porcentaje Retenido Parcial (%)**	**Porcentaje Retenido Acumulado (%)**	**Porcentaje que Pasa (%)**	**Límite Inferior (%) NTE INEN 872**	**Límite Superior (%) NTE INEN 872**
3/8"	9,50	2,90	2,90	0,48	0,48	99,52	99,52	100,00
No. 4	4,75	3,00	5,90	0,50	0,98	99,02	95,00	100,00
No. 8	2,36	101,20	107,10	16,86	17,85	82,15	80,00	100,00
No. 16	1,18	166,10	273,20	27,68	45,53	54,47	50,00	85,00
No. 30	0,60	122,50	395,70	20,41	65,94	34,06	25,00	60,00
No. 50	0,30	97,30	493,00	16,21	82,15	17,85	5,00	30,00
No. 100	0,15	63,70	556,70	10,61	92,77	7,23	0,00	10,00
No. 200	0,075	29,40	586,10	4,90	97,67	2,33	-	-
Bandeja		13,9	600,00	2,32	99,98	0,02	-	-
Módulo de Finura:				3,05				



El estudio de las partículas del agregado fino (TABLA XIV) confirmó que es adecuado para la mezcla de hormigón. Los resultados mostraron que el tamaño de las partículas está dentro de los límites establecidos por la norma ya que el valor de finura debe estar entre 2.3 y 3.1, el calculado fue de 3.05.

2) Análisis Granulométrico del Agregado Grueso:

TABLA XVIII.

RESULTADOS ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DEL AGREGADO GRUESO

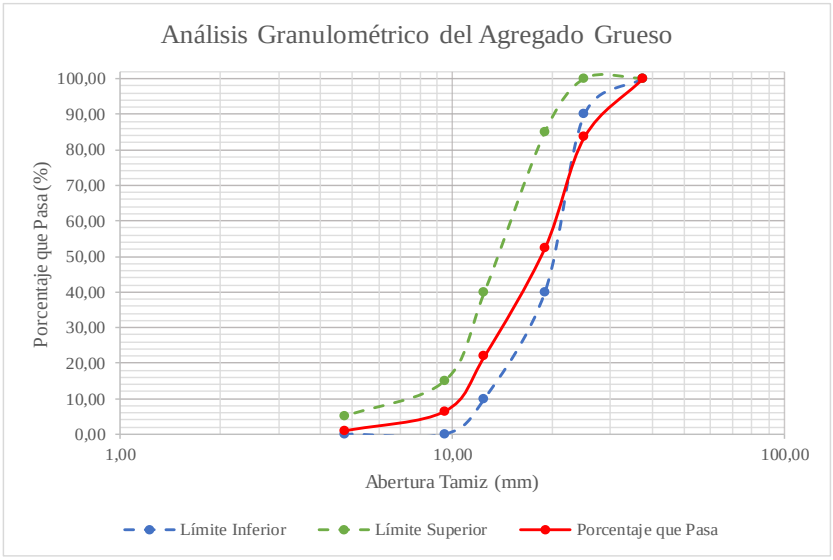
UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

"ANÁLISIS COMPARATIVO DEL COMPORTAMIENTO A FLEXIÓN ENTRE VIGAS DE HORMIGÓN ARMADO ELABORADAS CON AGREGADO GRUESO NATURAL Y RECICLADO"

Análisis Granulométrico del Agregado Grueso

Origen:	Alvarado Ortiz				
Fecha:	18 de Abril 2024				
Ensayado por:	Sánchez Balseca Alison Odalis				
Norma:	NTE INEN 696:2010 / ASTM C-136				
Muestra (gr):	5000,00	**Pérdida de la muestra:**	0,26%		

Tamiz (pulgadas)	**Tamiz (mm)**	**Retenido Parcial (gr)**	**Retenido Acumulado (gr)**	**Porcentaje Retenido Parcial (%)**	**Porcentaje Retenido Acumulado (%)**	**Porcentaje que Pasa (%)**	**Límite Inferior (%)NTE INEN 872**	**Límite Superior (%)NTE INEN 872**
1 1/2"	37,50	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00	100,00	100,00
1"	25,00	821,00	821,00	16,42	16,42	83,58	90,00	100,00
3/4"	19,00	1562,00	2383,00	31,24	47,66	52,34	40,00	85,00
1/2"	12,50	1519,00	3902,00	30,38	78,04	21,96	10,00	40,00
3/8"	9,50	772,00	4674,00	15,44	93,48	6,52	0,00	15,00
No. 4	4,75	277,00	4951,00	5,54	99,02	0,98	0,00	5,00
Bandeja		36	4987,00	0,72	99,74	0,26	-	-
Tamaño Nominal Máximo:				1"				



El análisis de tamaño de partículas del agregado grueso (TABLA XV) concluyó que es adecuado para la mezcla de hormigón. Los resultados indicaron que la distribución de las

partículas se encuentra dentro de los límites especificados por la norma ya que el tamaño nominal máximo obtenido fue de 1", encontrándose dentro del rango permitido de ¾ de pulgada a 1 ½ pulgadas.

3) Análisis Granulométrico del Agregado Grueso Reciclado:

TABLA XIX.

RESULTADOS ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DEL AGREGADO GRUESO RECICLADO

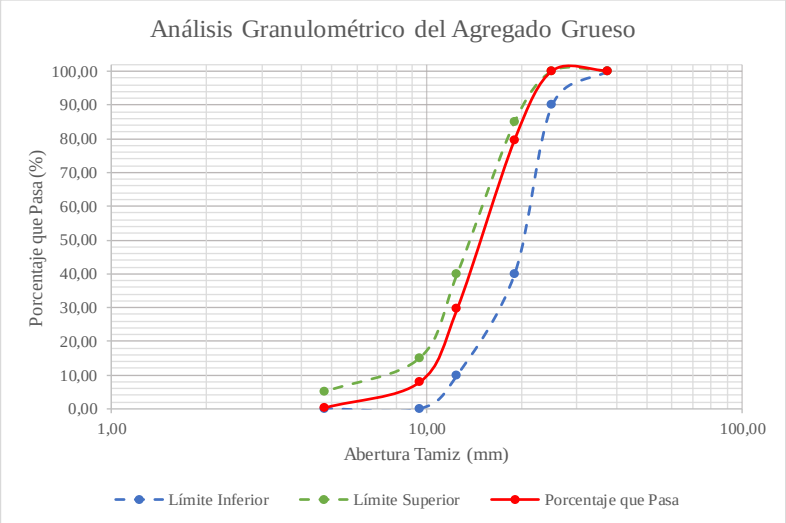
UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

"ANÁLISIS COMPARATIVO DEL COMPORTAMIENTO A FLEXIÓN ENTRE VIGAS DE HORMIGÓN ARMADO ELABORADAS CON AGREGADO GRUESO NATURAL Y RECICLADO"

Análisis Granulométrico del Agregado Grueso Reciclado

Origen:	Alvarado Ortiz		
Fecha:	18 de Abril 2024		
Ensayado por:	Sánchez Balseca Alison Odalis		
Norma:	NTE INEN 696:2010 / ASTM C-136		
Muestra (gr):	5000,00	**Pérdida de la muestra:**	0,18%

Tamiz (pulgadas)	Tamiz (mm)	Retenido Parcial (gr)	Retenido Acumulado (gr)	Porcentaje Retenido Parcial (%)	Porcentaje Retenido Acumulado (%)	Porcentaje que Pasa (%)	Límite Inferior (%)NTE INEN 872	Límite Superior (%)NTE INEN 872
1 1/2"	37,50	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00	100,00	100,00
1"	25,00	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00	90,00	100,00
3/4"	19,00	1015,00	1015,00	20,30	20,30	79,70	40,00	85,00
1/2"	12,50	2499,00	3514,00	49,98	70,28	29,72	10,00	40,00
3/8"	9,50	1089,00	4603,00	21,78	92,06	7,94	0,00	15,00
No. 4	4,75	380,00	4983,00	7,60	99,66	0,34	0,00	5,00
Bandeja		8	4991,00	0,16	99,82	0,18	-	-
Tamaño Nominal Máximo:				1"				



El análisis de tamaño de partículas del agregado grueso reciclado (TABLA XVI) concluyó que es adecuado para la mezcla de hormigón con remplazo del agregado grueso. Los resultados indicaron que la distribución de las partículas se encuentra dentro de los límites

especificados por la norma ya que el tamaño nominal máximo obtenido fue de 1", encontrándose dentro del rango permitido de ¾ de pulgada a 1 ½ pulgadas.

4) Densidad Real y Capacidad de Absorción del Agregado Fino:

TABLA XX.

RESULTADOS DENSIDAD REAL DEL AGREGADO FINO

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

"ANÁLISIS COMPARATIVO DEL COMPORTAMIENTO A FLEXIÓN ENTRE VIGAS DE HORMIGÓN ARMADO ELABORADAS CON AGREGADO GRUESO NATURAL Y RECICLADO"

Densidad Real del Agregado Fino

Origen:	Las Viñas
Fecha:	19 de Abril 2024
Ensayado por:	Sánchez Balseca Alison Odalis
Norma:	NTE INEN 856:2010 /ASTM C-128

Nomenclatura	**Descripción**	**Unidad**	**Valor**
m1	Masa del picnómetro	gr	153,40
m2	Masa del picnómetro + Muestra SSS	gr	653,40
m3	Masa del picnómetro + Muestra SSS + Agua	gr	962,70
m4 = m3 - m2	Masa de agua añadida	gr	309,30
m5	Masa del picnómetro + 500 cm3 de agua	gr	652,00
m6 = m5 - m1	Masa de 500 cm3 de agua	gr	498,60
DA = m6/500cm3	Densidad del agua	gr/cm3	0,997
m7 = m6 - m4	Masa del agua desalojada por la muestra	gr	189,30
Msss = m2 - m1	Masa del agregado	gr	500,00
Vsss = m7/DA	Volumen del agua desalojada	cm3	189,83
DRA = Msss/Vsss	Densidad real de la arena	gr/cm3	2,634

TABLA XXI.

RESULTADOS CAPACIDAD DE ABSORCIÓN DEL AGREGADO FINO

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

"ANÁLISIS COMPARATIVO DEL COMPORTAMIENTO A FLEXIÓN ENTRE VIGAS DE HORMIGÓN ARMADO ELABORADAS CON AGREGADO GRUESO NATURAL Y RECICLADO"

Capacidad de Absorción del Agregado Fino

Origen:	Las Viñas
Fecha:	19 de Abril 2024
Ensayado por:	Sánchez Balseca Alison Odalis
Norma:	NTE INEN 856:2010 /ASTM C-128

Nomenclatura	**Descripción**	**Unidad**	**Valor**		
			Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3
m8	Masa del recipiente	gr	1,85	1,85	1,85
m9	Masa del recipiente + Muestra SSS	gr	124,09	124,10	124,40
m10 = m9 - m8	Masa de la muestra SSS	gr	122,24	122,25	122,55
m11	Masa del recipiente + Muestra seca	gr	120,30	121,60	123,60
m12 = m11 - m8	Masa de la muestra seca	gr	118,45	119,75	121,75
CA = ((m10-m12)/m12)*100	Capacidad de absorción	%	3,20	2,09	0,66
CAA = (CA1+CA2+CA3)/3	Capacidad de absorción promedio de la arena	%	1,98		

El análisis de densidad real del agregado fino (TABLAS XII y XVIII) reveló que su densidad es de 2.63 gr/cm3 y su capacidad de absorción es del 1.98%, situándose dentro del rango permitido por la norma para agregados finos, en el intervalo dentro de entre 0.2% y 2%.

5) Densidad Real y Capacidad de Absorción del Agregado Grueso:

TABLA XXII.

RESULTADOS DENSIDAD REAL DEL AGREGADO GRUESO

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

"ANÁLISIS COMPARATIVO DEL COMPORTAMIENTO A FLEXIÓN ENTRE VIGAS DE HORMIGÓN ARMADO ELABORADAS CON AGREGADO GRUESO NATURAL Y RECICLADO"			
Densidad Real del Agregado Grueso			
Origen:	Las Viñas		
Fecha:	19 de Abril 2024		
Ensayado por:	Sánchez Balseca Alison Odalis		
Norma:	NTE INEN 857:2010 /ASTM C-128		
Nomenclatura	**Descripción**	**Unidad**	**Valor**
m1	Masa de la canastilla en el aire	gr	1176,00
m2	Masa de la canastilla en el agua	gr	1021,00
m3	Masa de la canastilla + Muestra SSS en el aire	gr	4175,00
m4	Masa de la canastilla + Muestra SSS en el agua	gr	2704,00
DA	Densidad real del agua	gr/cm3	1,000
m5 = m3 - m1	Masa de la muestra SSS en el aire	gr	2999,00
m6 = m4 - m2	Masa de la muestra SSS en el agua	gr	1683,00
VR = (m5-m6)/DA	Volumen real de la muestra	cm3	1316,00
DRR = m5/VR	Densidad real del ripio	gr/cm3	2,279

TABLA XXIII.

RESULTADOS CAPACIDAD DE ABSORCIÓN DEL AGREGADO GRUESO

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

"ANÁLISIS COMPARATIVO DEL COMPORTAMIENTO A FLEXIÓN ENTRE VIGAS DE HORMIGÓN ARMADO ELABORADAS CON AGREGADO GRUESO NATURAL Y RECICLADO"				
Capacidad de Absorción del Agregado Grueso				
Origen:	Las Viñas			
Fecha:	19 de Abril 2024			
Ensayado por:	Sánchez Balseca Alison Odalis			
Norma:	NTE INEN 857:2010 /ASTM C-127			
Nomenclatura	**Descripción**	**Unidad**	**Valor**	
			Muestra 1	Muestra 2
m7	Masa del recipiente	gr	1,85	1,85
m8	Masa del recipiente + Muestra SSS	gr	125,70	125,80
m9 = m8 - m7	Masa de la muestra SSS	gr	126,30	118,20
m10	Masa del recipiente + Muestra seca	gr	124,60	117,60
m11 = m10 - m7	Masa de la muestra seca	gr	124,20	115,78
CA = ((m9-m11)/m11)*100	Capacidad de absorción	%	1,69	2,09
CAR = (CA1+CA2)/2	Capacidad de absorción promedio del ripio	%	1,89	

El ensayo de la densidad real del agregado grueso (TABLAS XIX y XVX) determinó que su densidad real es de 2.28 gr/cm3 mientras que su capacidad de absorción es de 1.89% ubicándose del rango permitido por la norma para agregados finos, en el intervalo dentro de entre 0.2 y 4%

6) Densidad del Cemento:

TABLA XXIV.

DENSIDAD DEL CEMENTO

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

"ANÁLISIS COMPARATIVO DEL COMPORTAMIENTO A FLEXIÓN ENTRE VIGAS DE HORMIGÓN ARMADO ELABORADAS CON AGREGADO GRUESO NATURAL Y RECICLADO"

Densidad Real del Cemento

Origen:	Las Viñas
Fecha:	22 de Abril 2024
Ensayado por:	Sánchez Balseca Alison Odalis
Norma:	NTE INEN 156 /ASTM C-188

Nomenclatura	Descripción	Unidad	Valor
m1	Masa del picnómetro	**gr**	148,30
m2	Masa del picnómetro + Cemento	**gr**	212,30
m3	Masa del picnómetro + Cemento + Gasolina	**gr**	564,40
m4 = m3 - m2	Masa de gasolina añadida	**gr**	352,10
m5	Masa del picnómetro + 500 cm3 de gasolina	**gr**	517,10
m6 = m5 - m1	Masa de 500 cm3 de gasolina	**gr**	367,14
DG = m6/500cm3	Densidad de la gasolina	**gr/cm3**	0,734
m7 = m6 - m4	Masa de la gasolina desalojada por el cemento	**gr**	15,04
Mc = m2 - m1	Masa del cemento	**gr**	64,00
Vc = m7/DG	Volumen de gasolina desalojada	**cm3**	20,48
DRC = Msss/Vsss	Densidad real del cemento	**gr/cm3**	**3,12**

El ensayo de la densidad real (TABLA XXI) para el cemento portland “Chimborazo” tipo GU se puedo determinar que tiene una densidad de 3.12 gr/cm3**.**

7) Densidad Aparente Suelta y Compactada del Agregado Fino:

TABLA XXV.

DENSIDAD APARENTE Y COMPACTADA DEL AGREGADO FINO

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

"ANÁLISIS COMPARATIVO DEL COMPORTAMIENTO A FLEXIÓN ENTRE VIGAS DE HORMIGÓN ARMADO ELABORADAS CON AGREGADO GRUESO NATURAL Y RECICLADO"

Densidad Aparente Suelta y Compactada del Agregado Fino

Origen:	Las Viñas
Fecha:	23 de Abril 2024
Ensayado por:	Sánchez Balseca Alison Odalis
Norma:	NTE INEN 858:2010 /ASTM C-29

Descripción	**Unidad**	**Valor**
Masa del recipiente:	Kg	10,14
Altura del recipiente:	cm	28,50
Diámetro del recipiente:	cm	30,00
Volumen del recipiente:	dm3	20,15

Densidad Aparente	**Agregado + Recipiente (Kg)**	**Agregado (Kg)**	**Densidad Aparente (Kg/dm3)**	**Densidad Aparente Promedio (Kg/dm3)**
Suelta	37,360	27,220	1,351	1,353
	37,440	27,300	1,355	
Compactada	41,560	31,420	1,560	1,551
	41,220	31,080	1,543	

El análisis de densidad aparente tanto suelta como compactada, del agregado fino (TABLA XXII), dio como resultado una densidad aparente promedio un 1.353 kg/dm3 en estado suelto y de 1.551 kg/dm3 en estado compactado.

8) Densidad Aparente Suelta y Compactada del Agregado Grueso:

TABLA XXVI.

DENSIDAD APARENTE SUELTA Y COMPACTADA DEL AGREGADO GRUESO

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

"ANÁLISIS COMPARATIVO DEL COMPORTAMIENTO A FLEXIÓN ENTRE VIGAS DE HORMIGÓN ARMADO ELABORADAS CON AGREGADO GRUESO NATURAL Y RECICLADO"

Densidad Aparente Suelta y Compactada del Agregado Grueso

Origen:	Las Viñas
Fecha:	23 de Abril 2024
Ensayado por:	Sánchez Balseca Alison Odalis
Norma:	NTE INEN 858:2010 /ASTM C-29
Fecha:	6/10/2022

Descripción	**Unidad**	**Valor**
Masa del recipiente:	Kg	9,86
Altura del recipiente:	cm	28,50
Diámetro del recipiente:	cm	30,00
Volumen del recipiente:	dm3	20,15

Densidad Aparente	**Agregado + Recipiente (Kg)**	**Agregado (Kg)**	**Densidad Aparente (Kg/dm3)**	**Densidad Aparente Promedio (Kg/dm3)**
Suelta	36,320	26,460	1,313	1,320
	36,580	26,720	1,326	
Compactada	39,450	29,590	1,469	1,485
	40,120	30,260	1,502	

El análisis de densidad aparente, tanto suelta como compactada, del agregado grueso (TABA XIII) dio como resultado una densidad aparente promedio un 1.320 kg/dm3 en estado suelto y de 1.485 kg/dm3 en estado compactado.

9) Densidad Aparente Suelta y Compactada de la Mezcla (Agregado Fino y Grueso):

TABLA XXVII.

DENSIDAD APARENTE SUELTA Y COMPACTADA DE LA MEZCLA

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

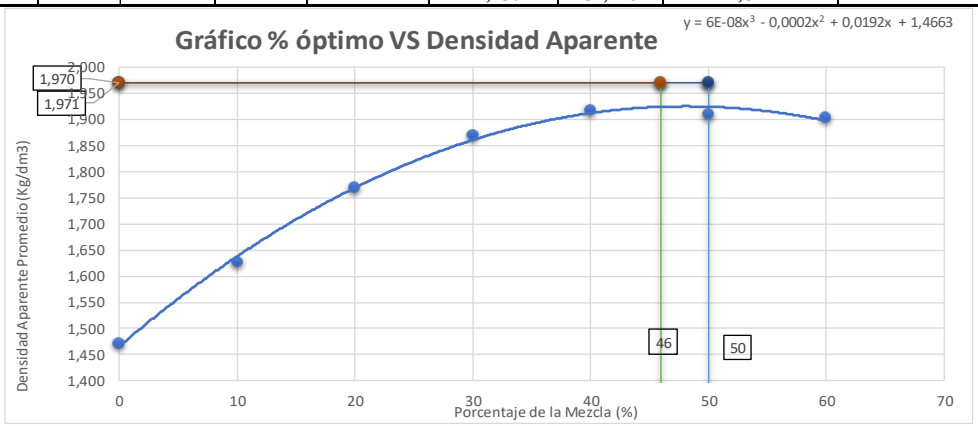
"ANÁLISIS COMPARATIVO DEL COMPORTAMIENTO A FLEXIÓN ENTRE VIGAS DE HORMIGÓN ARMADO ELABORADAS CON AGREGADO GRUESO NATURAL Y RECICLADO"

Densidad Aparente Compactada de la Mezcla

Origen:	Las Viñas
Fecha:	23 de Abril 2024
Ensayado por:	Sánchez Balseca Alison Odalis
Norma:	NTE INEN 858:2010 /ASTM C-29

Masa del recipiente:	10,14	Kg	*Diámetro del recipiente:*	30,00	cm	
Altura del recipiente:	28,50	cm	*Volumen del recipiente:*	20,15	dm3	

Porcentaje de Mezcla (%)		**Cantidad (Kg)**		**Agregado Fino Añadido (Kg)**	**Agregado + Recipiente (Kg)**	**Agregado (Kg)**	**Densidad Aparente Mezcla (Kg/dm3)**	**Densidad Aparente Promedio (Kg/dm3)**
A. Grueso	A. Fino	A. Grueso	A. Fino	A. Fino	Agregado Fino + Agregado Grueso			
100	0	40,00	0,00	0,00	39,450	29,310	1,455	1,472
					40,120	29,980	1,488	
90	10	40,00	4,44	4,44	42,920	32,780	1,627	1,626
					42,890	32,750	1,626	
80	20	40,00	10,00	5,56	44,760	34,620	1,719	1,771
					46,860	36,720	1,823	
70	30	40,00	17,14	7,14	47,680	37,540	1,863	1,870
					47,960	37,820	1,877	
60	40	40,00	26,67	9,52	48,970	38,830	1,927	1,918
					48,570	38,430	1,908	
50	50	40,00	40,00	13,33	48,680	38,540	1,913	1,909
					48,530	38,390	1,906	
40	60	40,00	60,00	20,00	49,730	39,590	1,965	1,904
					47,250	37,110	1,842	



Porcentaje Máximo de Agregado Fino	50	%
Porcentaje Máximo de Agregado Grueso	50	%
Porcentaje Óptimo de Agregado Fino	46	%
Porcentaje Óptimo de Agregado Grueso	54	%
Densidad Aparente Máxima del Agregado (Mezcla)	1,970	Kg/dm3
Densidad Aparente Óptimo del Agregado (Mezcla)	1,971	Kg/dm3

El análisis de densidad aparente compactada de la combinación de los agregados (TABLA XXIV) estableció que el porcentaje óptimo para el agregado fino es del 46%, mientras que para el agregado grueso es del 54%. Los valores máximos y óptimos del peso unitario se determinaron a través de la gráfica de densidad aparente compactada versus el porcentaje óptimo de la mezcla, resultando en 1.970 kg/dm³ y 1.971 kg/dm³ respectivamente.

10) Contenido de Humedad del Agregado Fino y Grueso:

TABLA XXVIII.

CONTENIDO DE HUMEDAD DEL AGREGADO FINO

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

"ANÁLISIS COMPARATIVO DEL COMPORTAMIENTO A FLEXIÓN ENTRE VIGAS DE HORMIGÓN ARMADO ELABORADAS CON AGREGADO GRUESO NATURAL Y RECICLADO"

Contenido de Humedad del Agregado Fino

Origen:	Las Viñas
Fecha:	24 de Abril 2024
Ensayado por:	Sámchez Balseca Alison Odalis
Norma:	NTE INEN 862:2011 /ASTM C-566

Nomenclatura	**Descripción**	**Unidad**	**Valor**		
			Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3
m1	Masa del recipiente	gr	1,85	1,85	1,85
m2	Masa del recipiente + Muestra	gr	124,50	124,10	124,40
m3 = m2 - m1	Masa de la muestra	gr	122,65	122,25	122,55
m4	Masa del recipiente + Muestra seca	gr	120,50	121,60	122,90
m5 = m4 - m1	Masa de la muestra seca	gr	118,65	119,75	121,05
CH	Contenido de Humedad	%	3,37	2,09	1,24
CHA	Contenido de Humedad promedio de la arena	%	2,23		

TABLA XXIX.

CONTENIDO DE HUMEDAD DEL AGREGADO GRUESO

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

"ANÁLISIS COMPARATIVO DEL COMPORTAMIENTO A FLEXIÓN ENTRE VIGAS DE HORMIGÓN ARMADO ELABORADAS CON AGREGADO GRUESO NATURAL Y RECICLADO"

Contenido de Humedad del Agregado Grueso

Origen:	Las Viñas
Fecha:	24 de Abril 2024
Ensayado por:	Sanchez Balseca Alison Odalis
Norma:	NTE INEN 862:2011 /ASTM C-566

Nomenclatura	**Descripción**	**Unidad**	**Valor**		
			Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3
m1	Masa del recipiente	gr	1,85	1,85	1,85
m2	Masa del recipiente + Muestra	gr	90,56	95,60	96,40
m3 = m2 - m1	Masa de la muestra	gr	88,71	93,75	94,55
m4	Masa del recipiente + Muestra seca	gr	87,50	93,40	94,56
m5 = m4 - m1	Masa de la muestra seca	gr	85,65	91,55	92,71
CH	Contenido de Humedad	%	3,57	2,40	1,98
CHR	Contenido de Humedad promedio del ripio	%	2,65		

A través del ensayo del contenido de humedad en el agregado fino y grueso, utilizando tres muestras de cada tipo, se determinó que el contenido promedio de humedad en la arena es del 2.23%, mientras que en el ripio es del 2.65%. Estos resultados indican la cantidad promedio de agua presente tanto en el agregado fino como en el grueso evaluados.

11) Resumen de los Datos Obtenidos en los Ensayos:

Se presenta un cuadro resumen de todos los ensayos realizados (TABLA XXVII), lo que permitirá una visión general de los datos obtenidos, facilitando así el cálculo de la dosificación.

TABLA XXX.
RESUMEN DE DATOS OBTENIDOS EN LOS ENSAYOS

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

"ANÁLISIS COMPARATIVO DEL COMPORTAMIENTO A FLEXIÓN ENTRE VIGAS DE HORMIGÓN ARMADO ELABORADAS CON AGREGADO GRUESO NATURAL Y RECICLADO"

Datos obtenidos de los Ensayos

Origen:	Las Viñas		
Fecha:	29 de Abril 2024		
Ensayado por:	Sánchez Balseca Alison Odalis		
Nomenclatura	**Descripción**	**Unidad**	**Valor**
DRC	Densidad real del cemento	Kg/dm3	3,125
DRA	Densidad real de la arena	Kg/dm3	2,634
DRR	Densidad real del ripio	Kg/dm3	2,279
DSA	Densidad aparente suelta de la arena	Kg/dm3	1,353
DSR	Densidad aparente suelta del ripio	Kg/dm3	1,320
DCA	Densidad aparente compactada de la arena	Kg/dm3	1,551
DCR	Densidad aparente compactada del ripio	Kg/dm3	1,485
POA	Porcentaje óptimo de la arena	%	46,000
POR	Porcentaje óptimo del ripio	%	54,000
DOM	Densidad óptima de la mezcla	Kg/dm3	1,971
CAA	Capacidad de absorción de la arena	%	2,10
CAR	Capacidad de absorción del ripio	%	1,89
CHA	Contenido de humedad de la arena	%	2,23
CHR	Contenido de humedad del ripio	%	2,65
MFA	Módulo de finura de la arena		3,052

B. Cálculo de la Dosificación

Se llevó a cabo un procedimiento cuyo objetivo fue determinar las proporciones adecuadas de los distintos elementos para obtener un hormigón con características específicas, tales como consistencia, compacidad, resistencia y durabilidad. Este método involucró la formulación de ecuaciones necesarias para un cálculo preciso de la dosificación, las cuales fueron explicadas en el capítulo anterior. Se utilizó el método de densidades óptimas para realizar los cálculos necesarios y así obtener la dosificación adecuada del hormigón.

TABLA XXXI.
DOSIFICACIÓN DEL HORMIGÓN POR DENSIDAD ÓPTIMA

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

"ANÁLISIS COMPARATIVO DEL COMPORTAMIENTO A FLEXIÓN ENTRE VIGAS DE HORMIGÓN ARMADO ELABORADAS CON AGREGADO GRUESO NATURAL Y RECICLADO"

Dosificación del hormigón por el método de la densidad óptima

Origen:	Las Viñas
Fecha:	29 de Abril 2024
Realizado por:	Sánchez Balseca Alison Odalis

DATOS DE ENSAYOS			**DATOS DE TABLAS**		
f'c =	240	kg/cm2	W/C =	0,57	
Asentamiento	6 - 9	cm.	CP =	POV + 2% + 0.08POV	
DRC	3,125	Kg/dm3	Cálculos:		
DRA	2,634	Kg/dm3	DRM =	2,442	Kg/dm3
DRR	2,279	Kg/dm3	POV =	19,304	%
DSA	1,353	Kg/dm3	CP =	228,485	dm3
DSR	1,320	Kg/dm3	C=	268,793	kg
POA	46,000	%	W=	142,460	lts
POR	54,000	%	A=	934,768	kg
DOM	1,971	Kg/dm3	R=	949,421	kg

Dosificación al Peso

Material	**Cantidad de Kg por cada m3 de Hormigón**	**Dosificación al peso**	**Cantidad en (kg) por cada saco de cemento de 50kg**
W	142,460	0,530	26,500
C	268,793	1,000	50,000
A	934,768	3,478	173,883
R	949,421	3,532	176,608
TOTAL	2295,442	Kg/m3	

Nomenclatura

W/C	Relación Agua/Cemento	C=	Cemento
DRM =	Densidad Real de la Mezcla	W=	Agua
POV =	Porcentaje óptimo de vacíos	A=	Arena
CP =	Cantidad de Pasta (%)	R=	Ripio

Se realizaron nueve probetas patrón con una altura de 20 centímetros y un diámetro de 10 centímetros, fueron diseñadas para soportar 240 kilogramos por centímetro cuadrado.

TABLA XXXII.
DOSIFICACIÓN PARA EL VOLUMEN NECESARIO DE LOS CILINDROS DE HORMIGÓN

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

"ANÁLISIS COMPARATIVO DEL COMPORTAMIENTO A FLEXIÓN ENTRE VIGAS DE HORMIGÓN ARMADO ELABORADAS CON AGREGADO GRUESO NATURAL Y RECICLADO"

Dosificación para el volumen necesario de los cilindros de hormigón

Fecha:		29 de Abril 2024			
Realizado por:		Sánchez Balseca Alison Odalis			
Diámetro del cilindro	10	cm	Volumen de Hormigón necesario para clindros (VCH)	0,01571	m3
Altura del cilindro	20	cm			
Número de cilindros	9				

Material	**Cantidad de Kg por cada m3 de Hormigón**	**Dosificación al peso**	**Dosificación de hormigón para cilindros**
W	146,326	0,570	2,298
C	256,713	1,000	4,032
A	934,768	3,641	14,683
R	949,421	3,698	14,913

TABLA XXXIII.
CORRECCIÓN DE LA DOSIFICACIÓN POR HUMEDAD

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

"ANÁLISIS COMPARATIVO DEL COMPORTAMIENTO A FLEXIÓN ENTRE VIGAS DE HORMIGÓN ARMADO ELABORADAS CON AGREGADO GRUESO NATURAL Y RECICLADO"

Correción de la dosificación por humedad

Fecha:	29 de Abril 2024
Realizado por:	Sánchez Balseca Alison Odalis

Material	**Dosificación al peso**	**Dosificación de hormigón para cilindros (Kg)**	**C. A (%)**	**C. H (%)**	**Corrección de**		**Cantidad Corregida Dosificación de hormigón para cilindros (Kg)**	**Corrección Dosificación al peso**
					%	**Kg**		
W	0,570	2,298	-	-	-	-0,134	2,165	0,537
C	1,000	4,032	-	-	-	-	4,032	1,000
A	3,641	14,683	2,097	2,233	-0,136	-0,020	14,703	3,646
R	3,698	14,913	1,890	2,653	-0,763	-0,114	15,027	3,727

Utilizando los datos recopilados sobre la capacidad de absorción y el contenido de humedad, se aplicó una corrección ajustada teniendo en cuenta los efectos de la humedad. Para así realizar ajustes en las composiciones de las muestras de prueba y en la medición del asentamiento, lo que permitió obtener los valores definitivos los cuales fueron empleados en la formulación final del hormigón.

TABLA XXXIV.

RELACIÓN AGUA CEMENTO SEGÚN LA RESISTENCIA A LOS 28 DÍAS

Resistencia a los 28 días (kg/cm2)	**Relación w/c**
320	0,51
300	0,52
280	0,53
250	0,56
240	0,57
210	0,58
180	0,62
150	0,7

TABLA XXXV.

DOSIFICACIÓN AL PESO MEDIANTE EL MÉTODO DE DENSIDADES OPTIMAS

Material	**Cantidad de Kg por cada m3 de Hormigón**	**Dosificación al peso**
W	146,326	0,570
C	256,713	1,000
A	934,768	3,641
R	949,421	3,698
Densidad del hormigón	2287,228	Kg/m3

TABLA XXXVI.

DOSIFICACIÓN POR CANTIDAD POR CADA SACO DE CEMENTO

Material	**Cantidad de Kg por cada m3 de Hormigón**	**Dosificación al peso**	**Cantidad por cada saco de cemento**	
W	146,326	0,570	28,500	Lt
C	256,713	1,000	50,000	Kg
A	934,768	3,641	182,065	Kg
R	949,421	3,698	184,919	Kg
TOTAL	2287,228	Kg/m3		

TABLA XXXVII.

DOSIFICACIÓN DEFINITIVA PARA PROBETAS A COMPRESIÓN

Material	**Cantidad Corregida Dosificación de hormigón para cilindros (Kg)**	
W	2,16	**Litros**
C	4,03	**Kg**
A	14,70	**Kg**
R	15,03	**Kg**

Se ha realizado la dosificación del hormigón para fabricar probetas destinadas a ensayos de compresión, garantizando que las proporciones de cemento, arena, grava y agua cumplen con las especificaciones del proyecto. Esta mezcla diseñada asegura la trabajabilidad,

resistencia y durabilidad necesarias. Los ensayos programados validarán la calidad del hormigón y confirmarán su aptitud para su uso en la construcción prevista.

1. Resistencia a la Compresión de Cilindros f'c=240kg/cm2:

Las probetas realizadas con la dosificación calculada se almacenaron en una cámara de curado durante 7, 14 y 28 días para así realizar pruebas de compresión, cuando las muestras alcanzaran su máxima resistencia.

a) Resistencia a los 7 días:

TABLA XXXVIII.

RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE CILINDROS A LOS 7 DÍAS

Resistencia a la Compresión a los 7 días de Edad						
Fecha:		7 de Mayo 2024				
Realizado por:		Sánchez Balseca Alison Odalis				
N° de Probeta	**Resistencia**	**Peso (Kg)**	**Carga P (kN)**	**Carga P (Kg)**	**Esf. Compresión (Kg/cm2)**	**Esf. Compresión Promedio**
CC-1	240 Kg/cm2	3,522	121,07	12345,7	155,91	157,48
CC-2		3,514	120,17	12253,9	156,01	
CC-3		3,691	123,62	12605,7	160,50	

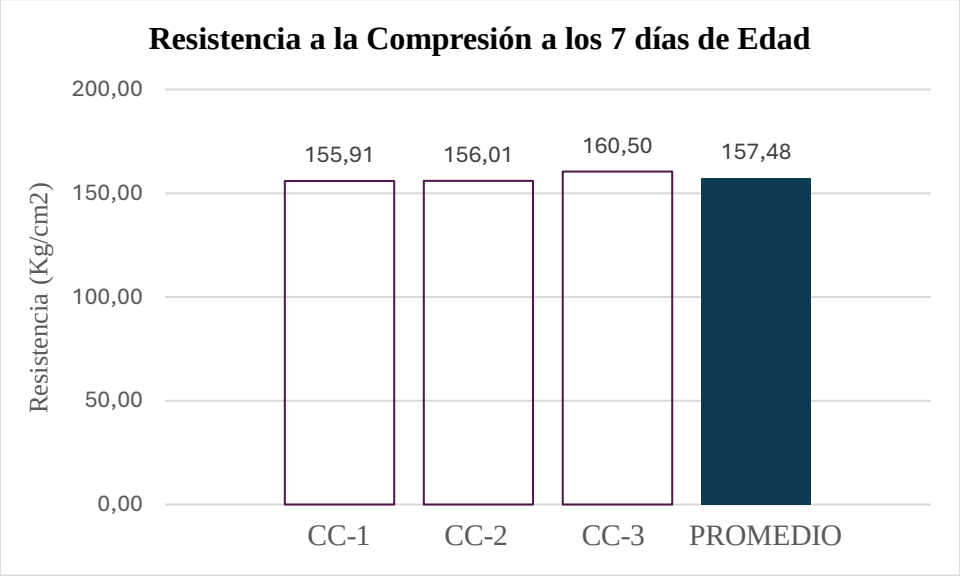


Fig. 18. *Resistencia a la Compresión de Cilindros a los 7 días*

Las probetas cilíndricas, diseñadas para confirmar la dosificación para una resistencia de 240 kg/cm², lograron una resistencia promedio de 157.48 kg/cm² en el ensayo de compresión. Este valor se encuentra dentro del rango esperado de 156 kg/cm² a 180 kg/cm² a

los 7 días. Alcanzando el 65.61% de la resistencia prevista, estos resultados indican que la mezcla utilizada es adecuada.

b) Resistencia a los 14 días:

TABLA XXXIX.

RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE CILINDROS A LOS 14 DÍAS

Resistencia a la Compresión a los 14 días de Edad						
Fecha:		14 de Mayo 2024				
Realizado por:		Sánchez Balseca Alison Odalis				
N° de Probeta	**Resistencia (Kg/cm2)**	**Peso (Kg)**	**Carga P (kN)**	**Carga P (Kg)**	**Esf. Compresión (Kg/cm2)**	**Esf. Compresión Promedio**
CC-4	240	3,576	148,82	15175,41153	196,29	196,97
CC-5		3,717	154,28	15732,2	200,27	
CC-6		3,569	138,79	14152,6	194,35	

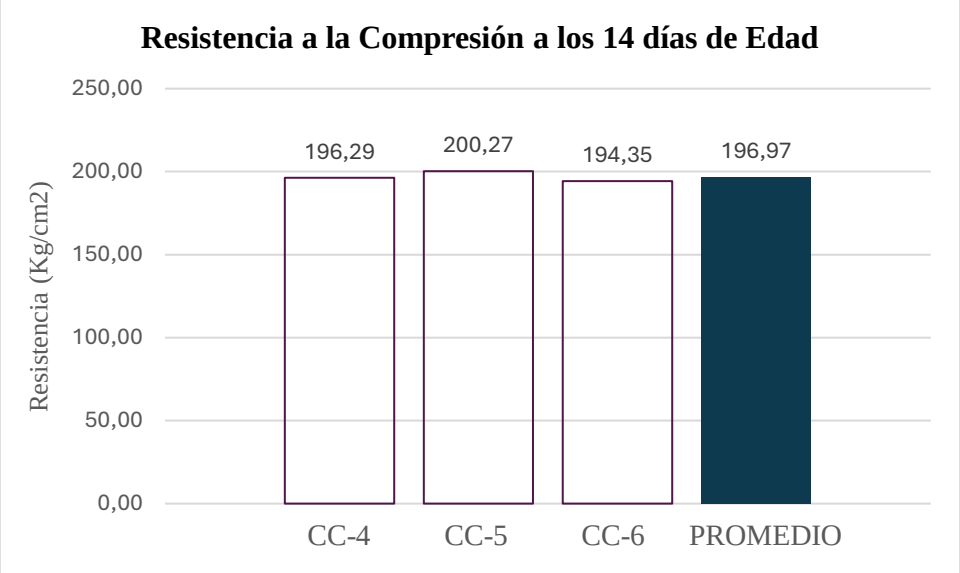


Fig. 19. *Resistencia a la Compresión de Cilindros a los 14 días*

Las probetas cilíndricas, diseñadas para confirmar la dosificación para una resistencia de 240 kg/cm², lograron una resistencia promedio de 196.97 kg/cm² en el ensayo de compresión. Este valor se encuentra dentro del rango esperado de 192 kg/cm² a 216 kg/cm² a los 14 días. Alcanzando el 82.07% de la resistencia prevista, estos resultados indican que la mezcla utilizada es adecuada.

c) Resistencia a los 28 días:

TABLA XL.

RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE CILINDROS A LOS 28 DÍAS

Resistencia a la Compresión a los 28 días de Edad						
Fecha:		28 de Mayo 2024				
Realizado por:		Sánchez Balseca Alison Odalis				
N° de Probeta	**Resistencia (Kg/cm2)**	**Peso (Kg)**	**Carga P (kN)**	**Carga P (Kg)**	**Esf. Compresión (Kg/cm2)**	**Esf. Compresión Promedio**
CC-7	240	3,623	168,22	17153,7	251,15	251,46
CC-8		3,548	171,19	17456,5	248,60	
CC-9		3,551	163,69	16691,7	254,62	

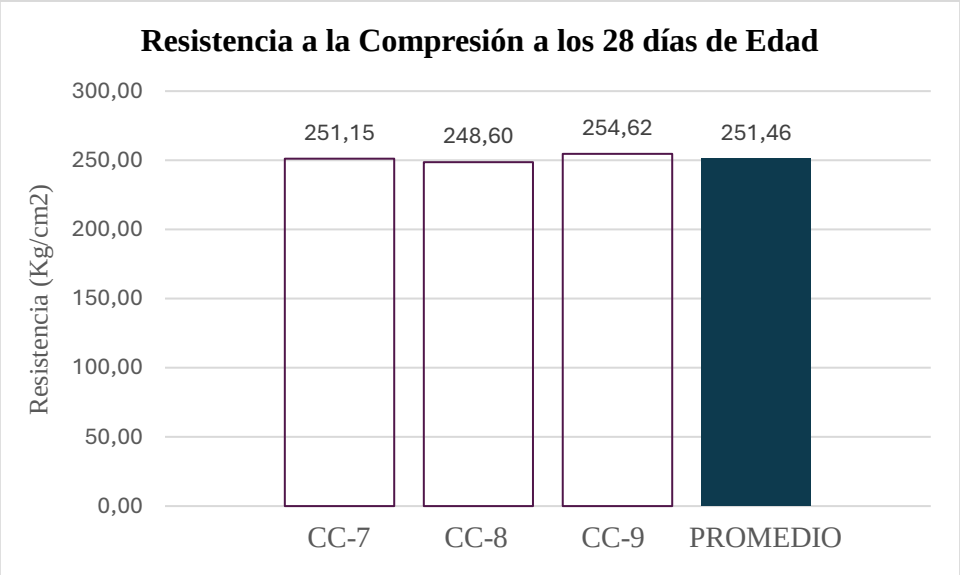


Fig. 20. *Resistencia a la Compresión de Cilindros a los 28 días*

Las probetas cilíndricas, diseñadas para confirmar la dosificación para una resistencia de 240 kg/cm², lograron una resistencia promedio de 251.46 kg/cm² en el ensayo de compresión. Este valor se encuentra dentro del rango esperado de 228 kg/cm² a 252 kg/cm² a los 28 días. Alcanzando el 104.77% de la resistencia prevista, estos resultados indican que la mezcla utilizada es adecuada.

d) Consolidado de datos Edad vs Resistencia a la Compresión:

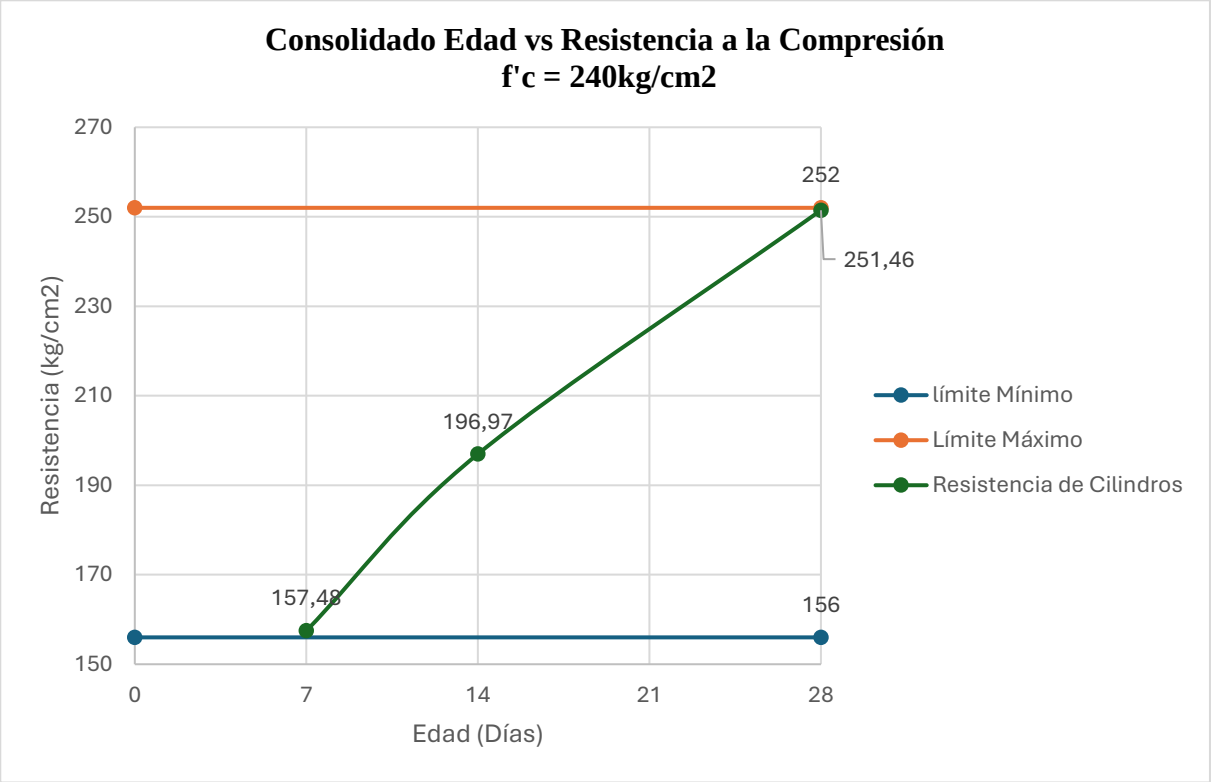


Fig. 21 *Consolidado de datos Edad vs Resistencia a la Compresión*

Como se muestra en la Fig. 20 los resultados obtenidos en los ensayos a compresión están dentro de los rangos establecidos para la dosificación de 240 kg/cm2 (156kg/cm2 a 252kg/cm2). Teniendo resistencias a compresión de 157.48 kg/cm2 a los 7 días, 196.97 kg/cm2 a los 14 días y por último 251.46 kg/cm2 a los 28 días. Estos resultados confirman que los cilindros cumplen con lo necesario, lo cual nos permite proceder con la elaboración de las vigas definitivas.

C. Elaboración de Vigas Definitivas

Después de haber calculado correctamente la dosificación del hormigón para una resistencia de 240kg/cm2, se procederá a fabricar las vigas definitivas que serán ensayadas a flexión. Para ello, en la Tabla XXXVIII se muestran los valores adecuados de la dosificación específica para estas vigas.

TABLA XLI.
DOSIFICACIÓN TOTAL PARA PROBETAS

Material	Cantidad Corregida Dosificación de hormigón para vigas (Kg)	Dosificación Total para Vigas (Kg)	
W	27,35	164,10	Litros
C	50,00	300,00	Kg
A	100,35	602,10	Kg
R	195,35	1172,10	Kg

1. Diseño de Armado de Vigas:

Se llevó a cabo un prediseño utilizando el mínimo necesario de acero para una viga armada. Este enfoque preliminar permite evaluar la viabilidad estructural del diseño.

Dimensiones:

$L = 2m$

$b = 25cm$

$h = 25cm$

$r = 2.5cm$

$d = 20.9cm$

$f'c = 240\frac{kg}{cm2}$

$fy = 4200\frac{kc}{cm2}$

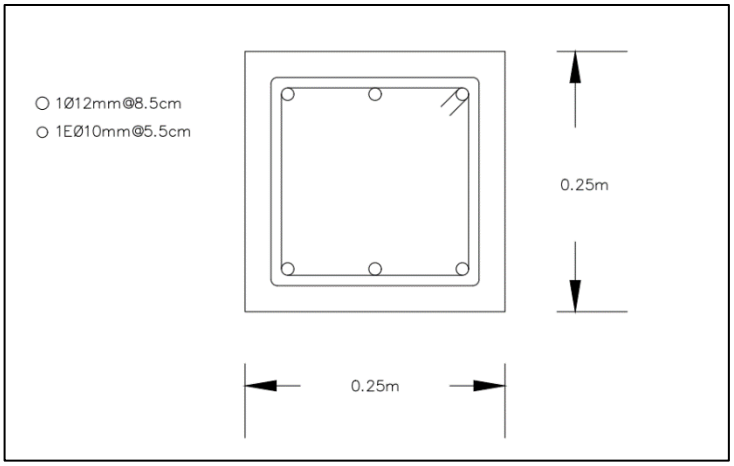


Fig. 22*. Vista A-A' armado de viga*

a) Acero Mínimo:

$$As_{min} = \frac{14}{fy}(b * d)$$

$$As_{min} = \frac{14}{4200\frac{kg}{cm2}}(25\ cm * 20.9cm)$$

$$As_{min} = 1.742$$

$$As\ \emptyset\ 12 = 1.131\ cm2 \rightarrow 3\ \emptyset\ 12$$

$$As_{real} = 3.393\ cm2$$

$$\rho_{real} = 0.00649378$$

$$0.00333 < 0.00649378 < 0.0122$$

Ok

b) Espaciamiento:

$$e = \frac{b - 2r - db * \#barras}{\#espacios}$$

$$e = \frac{25cm - 2(2.5cm) - 1.2 * 3}{2}$$

$$e = 8.2\ cm$$

$$\mathbf{1\ \emptyset\ 12\ @\ 8.5cm}$$

c) Acero de Refuerzo Transversal y Espaciamiento:

El diámetro mínimo normado para el acero de refuerzo trasversal es de 10mm por lo que se utilizó el mismo.

$$\mathbf{1E\ \emptyset 10mm\ @\ 5.5cm}$$

Después de los cálculos necesarios utilizando los aceros y espaciamientos mínimos el armado de las vigas tendrá 3 aceros longitudinales tanto en la cara superior como en la inferior de 12mm cada 8.5cm. Para el acero de refuerzo transversal se utilizará acero de 10mm cada 5.5cm. (Fig.22)

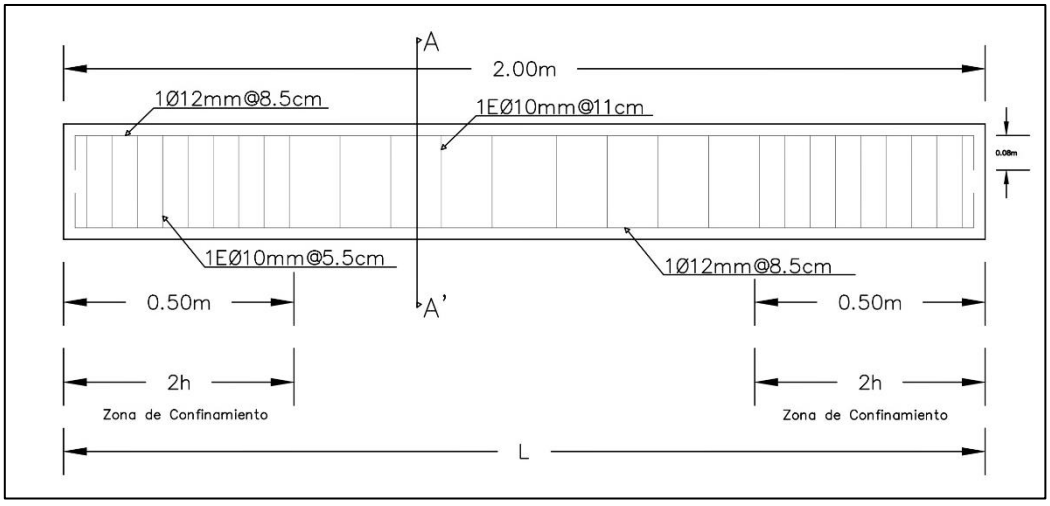


Fig. 23. *Armado de Viga Tipo 25x25cm*

D. Resistencia a la Flexión

Se muestran los resultados del ensayo a flexión de vigas de hormigón a los 7, 14 y 28 días de curado. Estos ensayos muestran la evolución de la resistencia del material con el tiempo. Se presentan las cargas máximas y los módulos de rotura, destacando las tendencias observadas en cada periodo.

1. Ensayo a Flexión de Vigas con Agregado Natural:

TABLA XLII.

ENSAYO A FLEXIÓN DE VIGAS CON AGREGADO GRUESO NATURAL

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL			
"ANÁLISIS COMPARATIVO DEL COMPORTAMIENTO A FLEXIÓN ENTRE VIGAS DE HORMIGÓN ARMADO ELABORADAS CON AGREGADO GRUESO NATURAL Y RECICLADO"			
Ensayo a Flexión de Vigas			
Fecha:	22, 29 de Mayo y 12 de Abril de 2024		
Ensayado por:	Sánchez Balseca Alison Odalis		
VIGAS CON AGREGADO NATURAL			
DÍAS	**7**	**14**	**28**
Código	VN-7	VN-14	VN-28
Fuerza (kN)	5,39	10,78	21,56
Desplazamiento (mm)	12,38	24,76	49,52

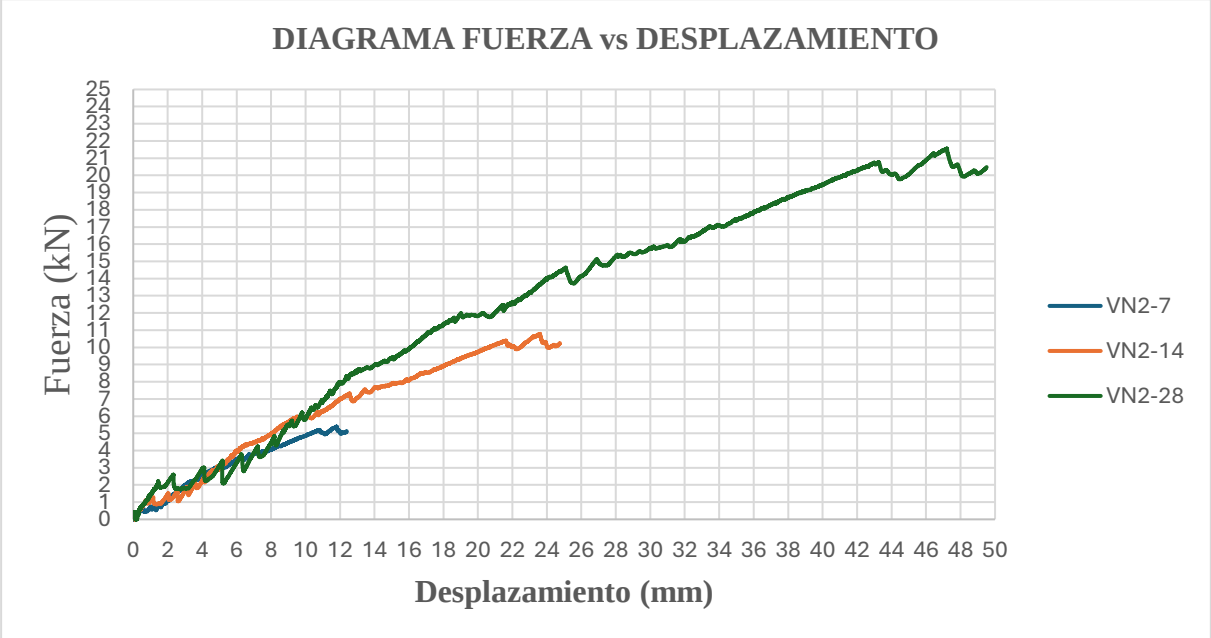


Fig. 24*. Diagrama Fuerza - Desplazamiento Vigas de Hormigón Armado con Agregado Natural*

2. *Ensayo a Flexión de Vigas con Agregado Reciclado:*

TABLA XLIII.
ENSAYO A FLEXIÓN DE VIGAS CON AGREGADO GRUESO RECICLADO

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL			
"ANÁLISIS COMPARATIVO DEL COMPORTAMIENTO A FLEXIÓN ENTRE VIGAS DE HORMIGÓN ARMADO ELABORADAS CON AGREGADO GRUESO NATURAL Y RECICLADO"			
Ensayo a Flexión de Vigas			
Fecha:	21, 28 de Mayo y 11 de Abril de 2024		
Ensayado por:	Sánchez Balseca Alison Odalis		
VIGAS CON AGREGADO RECICLADO			
DÍAS	**7**	**14**	**28**
Código	VR-7	VR-14	VR-28
Fuerza (kN)	4,905	9,811	19,621
Desplazamiento (mm)	5,571	11,143	22,286

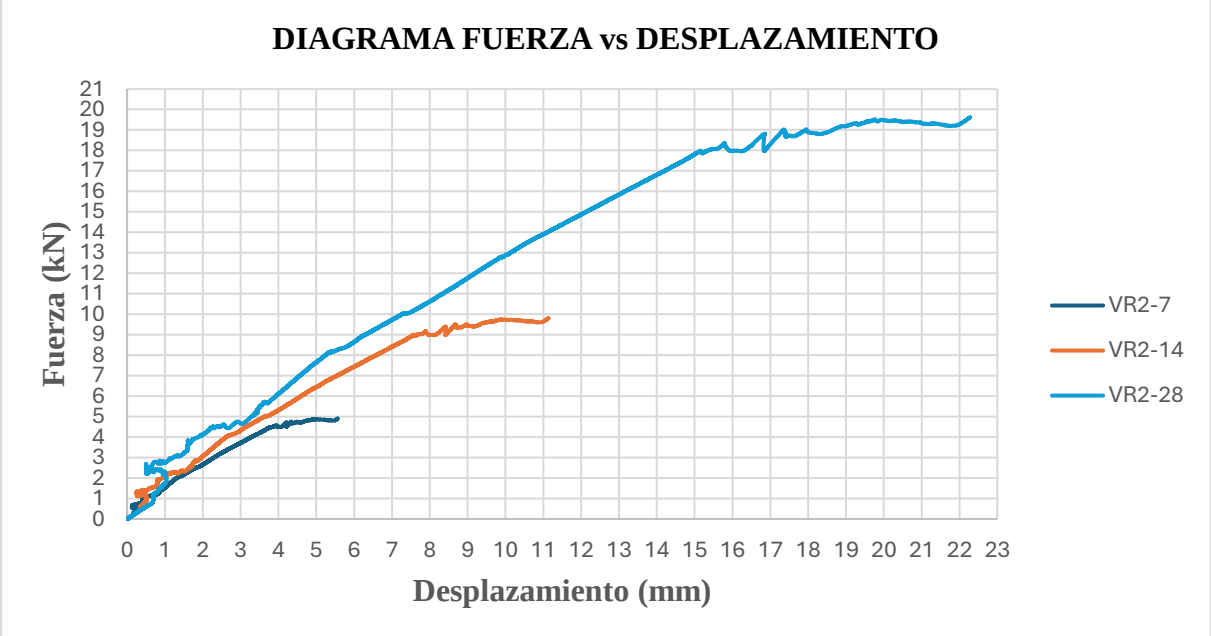


Fig. 25. *Diagrama Fuerza - Desplazamiento Vigas de Hormigón Armado con Agregado Reciclado*

El ensayo a flexión de las vigas de hormigón armado mostró que las vigas con agregado grueso natural soportaron una carga máxima de 21.56 kN y experimentaron un desplazamiento máximo de 49.52mm. Por otro lado, las vigas con agregado grueso reciclado soportaron una carga máxima de 19.62 kN con un desplazamiento máximo de 22.28mm. Estos resultados indican que, aunque las vigas con agregado reciclado tienen menor capacidad de carga y menor desplazamiento, son más rígidas.

3. *Módulo de Rotura de Vigas con Agregado Grueso Natural:*

TABLA XLIV.
MÓDULO DE ROTURA VIGAS CON AGREGADO GRUESO NATURAL

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL			
"ANÁLISIS COMPARATIVO DEL COMPORTAMIENTO A FLEXIÓN ENTRE VIGAS DE HORMIGÓN ARMADO ELABORADAS CON AGREGADO GRUESO NATURAL Y RECICLADO"			
Módulo de Rotura			
Fecha:	22, 29 de Mayo y 12 de Abril de 2024		
Ensayado por:	Sánchez Balseca Alison Odalis		
VIGAS CON AGREGADO NATURAL			
DÍAS	**7**	**14**	**28**
Código	VN-7	VN-14	VN-28
Fuerza (kN)	5,39	10,78	21,56
Módulo de Rotura (Mpa)	0,99	1,98	3,95

4. *Módulo de Rotura de Vigas con Agregado Grueso Reciclado:*

TABLA XLV.
MÓDULO DE ROTURA VIGAS CON AGREGADO GRUESO RECICLADO

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL			
"ANÁLISIS COMPARATIVO DEL COMPORTAMIENTO A FLEXIÓN ENTRE VIGAS DE HORMIGÓN ARMADO ELABORADAS CON AGREGADO GRUESO NATURAL Y RECICLADO"			
Módulo de Rotura			
Fecha:	21, 28 de Mayo y 11 de Abril de 2024		
Ensayado por:	Sánchez Balseca Alison Odalis		
VIGAS CON AGREGADO RECICLADO			
DÍAS	**7**	**14**	**28**
Código	VR-7	VR-14	VR-28
Fuerza (kN)	4,905	9,811	19,621
Módulo de Rotura (Mpa)	0,90	1,80	3,59

El módulo de rotura máximo para vigas de hormigón con agregado grueso natural fue de 3.95 MPa, mientras que para las vigas con agregado grueso reciclado fue de 3.59 MPa. Una diferencia que sugiere que el agregado natural ofrece una mayor resistencia.

5. Comprobación del Módulo de Ruptura con Límites del 10% al 20% de f'c

- Límite Inferior

$$f_r \min = 0.10\, f'c$$

$$f_r \min = 0.10 \left(240 \frac{kg}{cm2}\right)$$

$$f_r = 24 \frac{kg}{cm2}$$

$$f_r = 2.35\ MPa$$

- Límite Superior

$$f_r \max = 0.20\, f'c$$

$$f_r \max = 0.20 \left(240 \frac{kg}{cm2}\right)$$

$$f_r \max = 48 \frac{kg}{cm2}$$

$$f_r = 4.71\ MPa$$

Vigas de Hormigón Armado con Agregado Grueso Natural

$$0.10\, f'c\ < fr < 0.20\, f'c$$

$$2.35\ Mpa\ < 3.95\ MPa < 4.71\ MPa \quad \text{OK.}$$

Vigas de Hormigón Armado con Agregado Grueso Reciclado

$$0.10\, f'c\ < fr < 0.20\, f'$$

$$2.35\ Mpa\ < 3.59\ MPa < 4.71\ MPa \quad \text{OK.}$$

Tanto las vigas elaboradas con agregado grueso natural como reciclado cumplen con la comprobación del módulo de rotura con los límites del 10 y 20 por ciento del f'c ya que se encuentran dentro del rango calculado entre 2.35MPa y 4.71Mpa.

E. Discusión

El análisis de los resultados del ensayo a flexión en vigas de hormigón armado muestra diferencias importantes entre las vigas en las que se utilizó agregado grueso natural y aquellas que en las que se utilizó agregado grueso reciclado.

Las vigas con agregado grueso natural soportaron una carga máxima de 21.56 kN, mientras que las vigas con agregado grueso reciclado alcanzaron una carga máxima de 19.62 kN. El módulo de rotura máximo para las vigas con agregado grueso natural fue de 3.95 MPa, mientras que para las vigas con agregado reciclado fue de 3.59 MPa.

Los resultados del módulo de ruptura para vigas de hormigón armado muestran que el uso de agregado grueso natural proporciona un rendimiento ligeramente superior en comparación con el agregado reciclado, con valores medios de 3.95 MPa frente a 3.59 MPa, respectivamente. Aunque ambos tipos de agregado cumplen con los requisitos estructurales, las vigas con agregado natural tienden a tener una mayor resistencia a la flexión.

Esta diferencia sugiere que los agregados naturales ofrecen una mejor cohesión y resistencia. Los agregados naturales, por lo general, presentan superficies más limpias y menos contaminadas, lo que mejora la adherencia con la pasta de cemento, resultando en una mayor capacidad de carga. Por otro lado, los agregados reciclados pueden contener impurezas y restos de mortero adherido, lo que puede debilitar la adherencia entre el agregado y la mezcla de cemento, disminuyendo así la capacidad de carga.

El desplazamiento máximo observado en las vigas con agregado grueso natural fue de 49.52 mm, comparado con 22.28 mm para las vigas con agregado reciclado. Esta considerable diferencia en el desplazamiento máximo indica que las vigas con agregado natural tienen mayor ductilidad. La capacidad de deformarse más antes de fallar es esencial en aplicaciones estructurales, ya que permite que la estructura absorba más energía y tenga un comportamiento más flexible bajo cargas dinámicas o impactos. Por otro lado, las vigas con agregado reciclado, con un menor desplazamiento, muestran un comportamiento más rígido y menos dúctil, lo que puede indicar una mayor tendencia a fallos frágiles.

El tipo de agregado grueso utilizado en el hormigón armado influye significativamente en su comportamiento estructural. Las vigas con agregado grueso natural muestran mayor capacidad de carga, desplazamiento y módulo de rotura, lo que las hace más adecuadas para aplicaciones donde la resistencia y la ductilidad son críticas. Aunque el uso de agregados

reciclados es una opción más sostenible y amigable con el medio ambiente, es crucial considerar estas diferencias en las propiedades mecánicas al diseñar estructuras. Es posible que se necesiten métodos adicionales para mejorar las características de los agregados reciclados, como la eliminación de impurezas y la mejora de su adherencia con la matriz de cemento, para reducir la brecha de rendimiento entre los dos tipos de agregado.

IV. CONCLUSIONES

- El agregado fino natural tiene una densidad de 2.63kg/dm3 y una absorción del 1.98%, mientras que el agregado grueso natural presenta una densidad de 2.28kg/dm3 y una absorción del 1.89%, indicando su alta calidad. Para el agregado grueso reciclado, el ensayo de granulometría mostró partículas más pequeñas y heterogéneas, sugiriendo una mayor absorción de agua y menor densidad. Estos resultados indican que, aunque los agregados naturales cumplen con las normativas (INEN y ASTM) y son adecuados para su uso, el agregado reciclado podría necesitar un tratamiento adicional para mejorar su calidad y optimizar su uso en aplicaciones sostenibles.
- Las vigas con agregado grueso natural tuvieron una mayor resistencia a la flexión en comparación con las vigas que utilizaron agregado grueso reciclado, aunque las dos cumplen con los requisitos estructurales. Esto se evidencia por la carga máxima de 21.56kN para el agregado natural frente a 19.62kN para el reciclado, así como por el módulo de rotura máximo de 3.95 MPa y 3.59 MPa respectivamente, esto puede ser debido a que el agregado natural ofrece mejor cohesión y resistencia debido a sus superficies más limpias y menos contaminadas.
- Las vigas con agregado grueso natural demostraron una mayor ductilidad, con un desplazamiento máximo de 49.52mm, en comparación con las vigas utilizando agregado reciclado que alcanzaron 22.28mm. Esta diferencia resalta la capacidad superior del agregado natural para deformarse antes de la falla, crucial para absorber energía y ofrecer una estructura más flexible bajo cargas dinámicas. Por el contrario, las vigas con agregado reciclado mostraron un comportamiento más rígido y menos dúctil, indicativo de una mayor propensión a fallos frágiles bajo cargas elevadas.
- Las propiedades del acero de refuerzo no se ven afectadas por el tipo de agregado empleado, lo que enfatiza que la capacidad de carga máxima de las vigas está directamente relacionada con la calidad y uniformidad del hormigón. Esto subraya la importancia de mejorar la calidad del agregado reciclado mediante procesos de tratamiento y selección rigurosos, asegurando así un rendimiento óptimo.

V. MATERIALES DE REFERENCIA

A. Referencias Bibliográficas

[1] F. Pérez Oyarzún, R. Booth Pinochet, C. Vásquez Zaldívar, y Y. M. Lozano, "Atenea 523 SANTIAGO DE CHILE A COMIENZOS DEL SIGLO XX * CEMENTING THE CENTENARY: REINFORCED CONCRETE IN THREE BUILDINGS IN SANTIAGO CHILE AT THE EARLY 20 TH CENTURY", doi: 10.29393/At523-409FPCC40409.

[2] H. Guitierrez, S. Mercado, O. López, y J. Arévalo, "Procesos de construcción, emisión de dióxido de carbono y resultados socio-económicos durante la pandemia del covid-19 en México", *https://www.redalyc.org/journal/993/99366775017/html/*, vol. 23, may 2021.

[3] S. P. Muñoz Pérez, M. J. Bayona Reyes, y J. R. Yovera Santisteban, "Gestión de residuos de construcción y demolición, para mitigar el impacto Ambiental y preservar nuestros recursos naturales: Una revisión de la literatura", *Ecuadorian Science Journal*, vol. 5, núm. 2, pp. 100–106, sep. 2021, doi: 10.46480/esj.5.2.90.

[4] S. P. Muñoz-Pérez, A. L. Cabrera-Alcántara, C. C. Delgado- Bravo, y P. A. Renilla-Lau, "Comportamiento físico-mecánico del hormigón adicionando residuos de acero: una revisión literaria", *Revista UIS Ingenierías*, vol. 21, núm. 1, nov. 2021, doi: 10.18273/revuin.v21n1-2022005.

[5] NEC, "ESTRUCTURAS DE HORMIGÓN ARMADO", *https://www.habitatyvivienda.gob.ec/wp-content/uploads/2023/03/8.-NEC-SE-HM-Hormigon-Armado.pdf*, dic. 2014.

[6] J. Infante-Alcalde y C. Valderrama-Ulloa, "Technical, Economic and Environmental Analysis of the manufacture of concrete blocks with Recycled Terephthalate Polyethylene (PET)", *Informacion Tecnologica*, vol. 30, núm. 5, pp. 25–36, 2019, doi: 10.4067/S0718-07642019000500025.

[7] F. H. Gurdián Currán, P. Garcés Terradillos, E. Zorzoza Gomez, y E. M. Garcia Alcocel, "Comportamiento de hormigones con adiciones puzolánicas y árido reciclado", *Revista ALCONPAT*, vol. 11, núm. 3, sep. 2021, doi: 10.21041/ra.v11i3.542.

[8] E. Guerra, P. Ñacata, y E. Muñoz, "Aprovechamiento de los residuos provenientes de cilindros y vigas de hormigón utilizados en el laboratorio de Ensayo de Materiales de la Facultad de Ingeniería, Ciencias Físicas y Matemática de la Universidad Central del Ecuador para la fabricación de bloques huecos de hormigón con limadura de acero", *https://revistadigital.uce.edu.ec/index.php/INGENIO/article/view/1630/1800*, jul. 2018.

[9] H. Xargay, M. Ripani, A. Caggiano, P. Folino, y E. Martinelli, "Uso de materiales reciclados en compuestos cementicios", *Tecnura*, vol. 23, núm. 60, pp. 38–51, abr. 2019, doi: 10.14483/22487638.14697.

[10] A. Gomez, "LA ECONOMIA CIRCULAR COMO ALTERNATIVA PARA EL RECICLAJE DE CONCRETO (RCD) EN UNA OBRA CIVIL", *https://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/handle/10654/36890/GomezCortesAngueTatiana2020.pdf?sequence=1&isAllowed=y*, 2020.

[11] Instituto Ecuatoriano de Normalización, "NTE ARIDOS. ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO EN LOS ÁRIDOS, FINO Y GRUESO. ", *https://ia802909.us.archive.org/25/items/ec.nte.0696.2011/ec.nte.0696.2011.pdf*, vol. 1, 2011.

[12] Instituto Ecuatoriano de Normalización, "ÁRIDOS. DETERMINACIÓN DE LA MASA UNITARIA (PESO VOLUMÉTRICO) Y EL PORCENAJE DE VACIOS", *https://archive.org/details/ec.nte.0858.2010/page/n3/mode/2up*, vol. 1, 2010.

[13] Instituto Ecuatoriano de Normalización, "ÁRIDOS. DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD. DENSIDAD RELATIVA (GRAVEDAD ESPECÍFICA) Y

ABSORCIÓN DEL ÁRIDO GRUESO", *https://ia902907.us.archive.org/27/items/ec.nte.0857.2010/ec.nte.0857.2010.pdf*, vol. 1, 2010.

[14] Sánchez. Pulina, "ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN DE UNA PARED CON MAMPOSTERÍA TRADICIONAL VS UNA PARED CON MAMPOSTERÍA DE MATERIAL RECICLADO (PET).", *https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/25750/1/Tesis%201130%20-%20S%c3%a1nchez%20Camana%20Paulina%20de%20los%20%c3%81ngeles.pdf*, abr. 2017.

[15] Instituto Ecuatoriano de Normalización, "ÁRIDOS. DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD, DENSIDAD RELATIVA (GRAVEDAD ESPECÍFICA) Y ABSORCIÓN DEL ARIDO FINO. ", *https://archive.org/details/ec.nte.0856.2010/page/n1/mode/2up*, vol. 1, 2010.

[16] C. L, M. F, G. E, y F. J, "Medición de humedad en suelos: Revisión de métodos y características", *https://repository.uaeh.edu.mx/revistas/index.php/icbi/article/view/7035/8022*, vol. 9, núm. 17, ene. 2021.

[17] Instituto Ecuatoriano de Normalización, "ÁRIDOS PARA HORMIGÓN. DETERMINACIÓN DEL CONTENDIO DE HUMEDAD.", *https://www.studocu.com/ec/document/universidad-central-del-ecuador/ensayo-de-materiales/862-normas-nte-inen-862-para-los-ensayos-respectivos-de-los-agregados-gruesos-y/31180419*, vol. 1, 2011.

[18] American Concrete Institute ACI, "REQUISITOS DE REGLAMENTO PARA CONCRETO ESTRUCTURAL (ACI 318-19)", *https://www.udocz.com/apuntes/53414/aci-318-19-espanol*, 2019.

[19] P. Bastidas, "COMPORTAMIENTO DE LA CENIZA DE LA CASCARILLA DE ARROZ EN LAS PROPIEDADES FÍSICOMECÁNICAS EN MEZCLAS DE

HORMIGÓN ESTÁNDAR.”, *https://www.dspace.uce.edu.ec/server/api/core/bitstreams/29957be5-146b-43f5-8fac-cedf0369f67d/content*, feb. 2019.

[20] American Concrete Institute (ACI), “TERMINOLOGÍA DEL CEMENTO Y EL HORMIGÓN (ACI 116R-90)”, *https://es.scribd.com/document/438859974/ACI-116R-90*, 1990.

[21] ASTM International, “PRÁCTICA NORMALIZADA PARA PREPARACIÓN Y CURADO DE ESPECÍMENES DE ENSAYO DE CONCRETO EN LA OBRA”, *https://es.scribd.com/document/251078240/ASTM-C-31*, 1924.

[22] ASTM Institute, “Standard Test Method for Flexural Strength of Concrete ”, *https://www.studocu.com/latam/document/universidad-de-costa-rica/estructuras-de-concreto-i/c-78-18-astm-c78/39905237*.

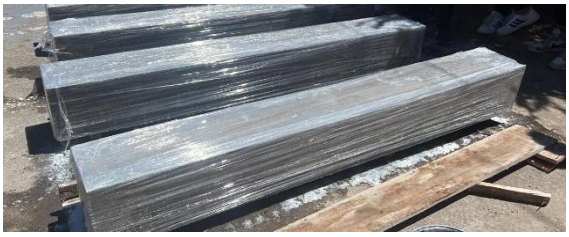
B. Anexos

FOTOGRAFÍA 1	FOTOGRAFÍA 2
	
Descripción: Recolección de escombros de construcción vía Ambato - Baños	**Descripción:** Recolección de cilindros de hormigón de la FICM
FOTOGRAFÍA 3	**FOTOGRAFÍA 4**
	
Descripción: Trituración del agregado reciclado en la Constructora Alvarado	**Descripción:** Traslado y almacenamiento de al agregado triturado en los Laboratorios
FOTOGRAFÍA 5	**FOTOGRAFÍA 6**
	
Descripción: Recolección del agregado fino natural – Constructora Alvarado	**Descripción:** Recolección del agregado grueso natural – Constructora Alvarado

FOTOGRAFÍA 7	FOTOGRAFÍA 8
	
Descripción: Granulometría del agregado fino natural	**Descripción:** Granulometría del agregado grueso natural
FOTOGRAFÍA 9	**FOTOGRAFÍA 10**
	
Descripción: Granulometría del agregado grueso reciclado triturado	**Descripción:** Contenido de Humedad de agregado fino
FOTOGRAFÍA 11	**FOTOGRAFÍA 12**
	
Descripción: Granulometría del agregado grueso natural	**Descripción:** Densidad real del cemento

FOTOGRAFÍA 13	FOTOGRAFÍA 14
	
Descripción: Densidad real y capacidad de absorción de los agregados	**Descripción:** Densidad Aparente suelta y compactada de los agregados
FOTOGRAFÍA 15	**FOTOGRAFÍA 16**
	
Descripción: Mezcla a mano para los cilindros de hormigón para compresión	**Descripción:** Medida de asentamiento para los cilindros de hormigón para compresión
FOTOGRAFÍA 17	**FOTOGRAFÍA 18**
	
Descripción: Cilindros de hormigón con mezcla fresca	**Descripción:** Cilindros de hormigón en curado 7, 14, 28 días

FOTOGRAFÍA 19	FOTOGRAFÍA 20
	
Descripción: Ensayo a Compresión de cilindros a los 7 días	**Descripción:** Ensayo a Compresión de cilindros a los 14 días
FOTOGRAFÍA 21	**FOTOGRAFÍA 22**
	
Descripción: Ensayo a Compresión de cilindros a los 28 días	**Descripción:** Mezcla de hormigón para vigas definitivas
FOTOGRAFÍA 23	**FOTOGRAFÍA 24**
	
Descripción: Medida de asentamiento de la mezcla de hormigón para vigas	**Descripción:** Armado de vigas

FOTOGRAFÍA 25	FOTOGRAFÍA 26
	
Descripción: Colocación de hormigón en los moldes	**Descripción:** Vigas con mezcla en estado fresco
FOTOGRAFÍA 27	**FOTOGRAFÍA 28**
	
Descripción: Desencofrado y curado manual de vigas	**Descripción:** Curado de Vigas con Antisol
FOTOGRAFÍA 29	**FOTOGRAFÍA 30**
	
Descripción: Forrado de vigas con Film Plástico después del Antisol	**Descripción:** Movilización de vigas para el ensayo a flexión

FOTOGRAFÍA 31	FOTOGRAFÍA 32
	
Descripción: Ubicación de vigas para ensayo a flexión	**Descripción:** Ensayo a Flexión de vigas por 3 puntos
FOTOGRAFÍA 33	**FOTOGRAFÍA 34**
	
Descripción: Ubicación del punto central en la viga para ensayo a flexión	**Descripción:** Rotura en viga de hormigón armado con agregado grueso reciclado
FOTOGRAFÍA 35	**FOTOGRAFÍA 36**
	
Descripción: Rotura en viga de hormigón armado con agregado grueso natural	**Descripción:** Comparación de roturas entre vigas de hormigón armado con agregado grueso natural y reciclado