



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

**TRABAJO EXPERIMENTAL PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO
DE INGENIERO**

TEMA:

**“EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO A FLEXIÓN DE VIGAS DE
HORMIGÓN SIMPLE, PREPARADO A PARTIR DE MATERIALES
RECICLADOS”**

Autor: Joseph Henry Sánchez Freire

Tutora: Ing. Lourdes Gabriela Peñafiel Valla, Mg.

Ambato – Ecuador

Septiembre - 2023

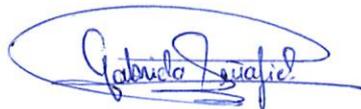
APROBACIÓN DEL TUTOR

En mi calidad de Tutora del Trabajo experimental, previo a la obtención del Título de Ingeniero Civil, con el tema **“EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO A FLEXIÓN DE VIGAS DE HORMIGÓN SIMPLE, PREPARADO A PARTIR DE MATERIALES RECICLADOS”**, elaborado por el Sr. Joseph Henry Sánchez Freire, portador de la cédula de ciudadanía C.I. 18051231660, 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.
- Esta concluido en su totalidad.

Ambato, septiembre 2023



Ing. Lourdes Gabriela Peñañiel Valla, Mg.

TUTORA

AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Joseph Henry Sánchez Freire, con C.I 1805121660 declaro que todas las actividades y contenidos expuestos en el desarrollo del presente Trabajo Experimental con el tema **“EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO A FLEXIÓN DE VIGAS DE HORMIGÓN SIMPLE, PREPARADO A PARTIR DE MATERIALES RECICLADOS”** así como también los análisis, ideas, tablas, gráficos, conclusiones y recomendaciones son de mi exclusiva responsabilidad como autor del proyecto, a excepción de las referencias bibliográficas citadas en el mismo.

Ambato, septiembre 2023



Joseph Henry Sánchez Freire

C.I. 1805121660

AUTOR

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, septiembre 2023



Joseph Henry Sánchez Freire

C.I. 1805121660

AUTOR

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO

Los miembros del Tribunal de Grado aprueban el informe del Trabajo Experimental, realizado por el estudiante Joseph Henry Sánchez Freire de la carrera de Ingeniería Civil bajo el tema “**EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO A FLEXIÓN DE VIGAS DE HORMIGÓN SIMPLE, PREPARADO A PARTIR DE MATERIALES RECICLADOS**”

Ambato, septiembre 2023

Para constancia firman



Ing. Wladimir José Ramírez Cabrera, Mg.
MIEMBRO CALIFICADOR



Ing. María Fernanda Pico Nuñez, Mg.
MIEMBRO CALIFICADOR

DEDICATORIA

Dedico esta tesis a mi madre que siempre me estuvo apoyando emocional y económicamente durante toda mi carrera, ha sido el pilar fundamental en mi crecimiento como ser humano y ella con su ejemplo me enseñó a ser un gran guerrero y luchador.

A mi persona por haber hecho un gran mérito y dedicación que me ha permitido llegar hasta este momento de mi vida.

AGRADECIMIENTO

Agradezco a mis padres por haber sido el pilar fundamental en mi carrera universitaria pues me han motivado desde un inicio y con su ejemplo de valor, carácter y valentía me enseñaron a no darme por vencido frente a ninguna adversidad en este camino llamado vida.

También quiero agradecer a todos los maestros que tuvieron la paciencia de enseñarme conocimientos cuando más lo necesitaba, se dieron el tiempo y el trabajo de enseñarme con mucha paciencia y más que profesores han sido unas personas con un gran valor

Y finalmente quiero agradecer a todas las personas que de cualquier forma me estuvieron apoyando durante todo el trayecto de mi carrera.

ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS

APROBACIÓN DEL TUTOR.....	ii
AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN	iii
DERECHOS DE AUTOR	iv
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO	iv
DEDICATORIA	vi
AGRADECIMIENTO	vii
ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS.....	viii
RESUMEN EJECUTIVO	xiv
ABSTRACT.....	xv
CAPITULO I.- MARCO TEÓRICO	1
1.1 ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS.....	1
1.2 JUSTIFICACIÓN.....	6
1.3 OBJETIVOS.....	7
Objetivo general	7
Objetivos específicos:.....	7
CAPÍTULO II.- METODOLOGÍA	8
2.1 Materiales	8
2.2 Métodos	14
2.2.1 Etapa 1. Preliminar.....	16
2.2.1.1 Investigación bibliográfica.....	16
2.2.1.2 Obtención de materia prima	16
2.2.2 Ensayos de los agregados.....	19
2.2.2.1 Análisis granulométrico	19
2.2.2.2 Granulometría del agregado fino	20

2.2.2.3 Granulometría del agregado grueso	20
2.2.2.4 Densidad aparente suelta y compactada de los agregados	21
2.2.2.5 Densidad aparente combinada de los agregados	21
2.2.2.6 Densidad real y capacidad de absorción del agregado grueso	22
2.2.2.7 Densidad real y capacidad de absorción del agregado fino	23
2.2.2.8 Densidad real del cemento	23
2.2.2.9 Contenido de humedad.....	23
2.2.3 Etapa 3. Elaboración de las vigas con hormigón natural y reciclado.....	24
2.2.3.1 Elaboración de moldes para las vigas	24
2.2.3.2 Método de la densidad optima	24
2.2.3.3. Corrección por humedad	26
2.2.3.4 Elaboración de probetas de muestras	27
2.2.3.5 Elaboración de probetas definitivas	27
2.2.3.6. Propiedades del hormigón fresco	28
2.2.3.7. Curado del hormigón	29
2.2.3.8. Ensayos a flexión de vigas	29
2.2.4 Etapa 4. Plan para análisis de resultados.....	30
CAPÍTULO III.- RESULTADOS Y DISCUSIÓN	32
3.1 Análisis y discusión de resultados.....	32
3.1.1 Propiedades mecánicas de los agregados.....	32
3.1.2 Método de las densidades optimas.....	43
3.1.3 Densidad del hormigón en estado fresco	45
3.1.4 Resistencia a flexión.	48

3.1.5. Verificación a falla.....	55
CAPITULO IV. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	56
4.1 CONCLUSIONES.....	56
4.2 RECOMENDACIONES	57
BIBLIOGRAFÍA	58
ANEXOS	63
A1. Anexos fotográficos.....	63

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Planta de trituración Kumochi sector las Viñas.....	17
Figura 2. Probetas de hormigón para ser trituradas.....	18
Figura 3. Maquina trituradora	18
Figura 4. Material triturado	18
Figura 5. Cono de Abrams	29
Figura 6. Esquema para ensayo a flexión.....	30
Figura 7. Análisis granulométrico del agregado fino.....	33
Figura 8. Análisis granulométrico del agregado grueso.....	34
Figura 9. Análisis granulométrico del agregado reciclado.....	35
Figura 10. Densidad del hormigón en estado fresco a los 7 días.	45
Figura 11. Densidad del hormigón en estado fresco a los 28 días.	46
Figura 12. Curva módulo de rotura vs deflexión a los 7 días.	49
Figura 13. Resumen del Módulo de rotura del hormigón a los 7 días.	50
Figura 14. Resumen de las deflexiones del hormigón a los 7 días.	51
Figura 15. Curva módulo de rotura vs deflexión a los 28 días.	52
Figura 16. Resumen del módulo de rotura del hormigón a los 28 días.....	53
Figura 17. Resumen de las deflexiones del hormigón a los 28 días.	54
Figura 18. Tipo de falla en las vigas.	55

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Materiales y equipos utilizados para el cumplimiento del objetivo 1.....	12
Tabla 2. Materiales y equipos utilizados para el cumplimiento del objetivo 2.....	14
Tabla 3. Materiales y equipos utilizados para el cumplimiento del objetivo 2.....	14
Tabla 4. Etapas del proyecto	15
Tabla 5. Ensayos y materiales.....	19
Tabla 6. Tamices de la serie de Tyler	19
Tabla 7. Límites especificados para el agregado fino.....	20
Tabla 8. Límites especificados para el agregado grueso.....	20
Tabla 9. Tabla para obtener la densidad compactada de la mezcla	22
Tabla 10. Nomenclatura para el método de la densidad óptima.	24
Tabla 11. Resistencia a la compresión en función a la relación agua-cemento.	25
Tabla 12. Resistencia a la compresión en función a la relación agua-cemento.	25
Tabla 13. Número de vigas a realizar.....	27
Tabla 14. Consistencias y formas de compactación.....	28
Tabla 15. Análisis granulométrico del agregado fino.	32
Tabla 16. Análisis granulométrico del agregado grueso.....	34
Tabla 17. Análisis granulométrico del agregado reciclado.....	35
Tabla 18. Densidad aparente suelta del agregado grueso y fino.....	36
Tabla 19. Densidad aparente suelta del agregado grueso y fino.....	37
Tabla 20. Densidad aparente compactada combinada.	39
Tabla 21. Densidad real del agregado fino.....	40
Tabla 22. Densidad real del agregado fino.....	41
Tabla 23. Contenido de humedad.	42
Tabla 24. Densidad real del cemento.	42
Tabla 25. Resumen ensayos para la dosificación f_c 240 kg/cm ²	43

Tabla 26. Dosificación al peso f_c 240 kg/cm ²	43
Tabla 27. Corrección de humedad.	44
Tabla 28. Densidad del hormigón en estado fresco a los 7 días.	45
Tabla 29. Densidad del hormigón en estado fresco a los 28 días.	46
Tabla 30. Resumen de las densidades del hormigón a los 7 días.....	47
Tabla 31. Resumen de las densidades del hormigón a los 28 días.....	47
Tabla 32. Módulo de rotura del hormigón a los 7 días.	48
Tabla 33. Resumen del Módulo de rotura del hormigón a los 7 días.....	49
Tabla 34. Resumen de las deflexiones del hormigón a los 7 días.....	50
Tabla 35. Resistencia a compresión de cilindros de hormigón a los 28 días.	51
Tabla 36. Módulo de rotura del hormigón a los 28 días.	52
Tabla 37. Resumen del Módulo de rotura del hormigón a los 28 días.....	53
Tabla 38. Resumen de las deflexiones del hormigón a los 28 días.....	54

RESUMEN EJECUTIVO

El hormigón es un material de alta demanda en la construcción, por su excelente resistencia a compresión y fácil trabajabilidad es empleado a gran escala a nivel nacional e internacional y se producen escombros de hormigón los cuales muchas de las veces no se les da una reutilización y su principal destino es una escombrera o quebradas lo que provoca un daño ambiental.

El principal objetivo de esta investigación es analizar el comportamiento a flexión de vigas elaboradas a partir de hormigón reciclado y para realizar una dosificación adecuada se han realizado ensayos previos de laboratorio como los de granulometría, densidades y contenidos de humedad. Se han elaborado un total de 36 vigas con diferentes dosificaciones del 10, 15, 30, 60 y 100 por ciento con una resistencia de 240 kg/cm² para obtener resultados experimentales y compararlos con vigas base elaboradas a partir de agregado natural grueso, las vigas luego de ser curadas a los 7 y 28 días de edad fueron ensayadas a flexión y se registraron las cargas (KN), módulos de rotura (MPa) y deflexiones (mm) que presentaron cada una de las vigas.

De los resultados obtenidos, la resistencia a flexión de cada una de las vigas varía según el porcentaje de agregados que las constituyen mostrando que los módulos de rotura a los 28 días de edad las vigas VF_30 y VF_100 soportan mayores cargas a flexión en un 5.09 y 1.77 por ciento en comparación a las vigas VF_0 de hormigón base sin agregado reciclado.

Palabras clave: hormigón reciclado, hormigón natural, vigas, módulos de rotura, dosificación, deflexión.

ABSTRACT

Concrete is a material in high demand in construction, due to its excellent compressive strength and easy workability it is used on a large scale nationally and internationally and concrete rubble is produced which many times is not reused and Its main destination is a dump or ravines, which causes environmental damage.

The main objective of this research is to analyze the flexural behavior of beams made from recycled concrete and to carry out an adequate dosage, previous laboratory tests such as granulometry, densities and moisture content have been carried out. A total of 36 beams have been made with different dosages of 10, 15, 30, 60 and 100 percent with a resistance of 240 kg/cm² to obtain experimental results and compare them with base beams made from coarse natural aggregate, the beams After being cured at 7 and 28 days of age, they were flexurally tested and the loads (KN), modulus of rupture (MPa) and deflections (mm) presented by each of the beams were recorded.

From the results obtained, the flexural resistance of each of the beams varies according to the percentage of aggregates that constitute them, showing that the modulus of rupture at 28 days of age, the VF_30 and VF_100 beams support greater flexural loads by 5.09 and 1.77 percent compared to base concrete VF_0 beams without recycled aggregate.

Keywords: recycled concrete, natural concrete, beams, modulus of rupture, dosage, deflection.

CAPITULO I.- MARCO TEÓRICO

1.1 ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS

Los comienzos del siglo XX han sido importantes en la aparición del hormigón armado y este sería de vital importancia para el futuro de la construcción, los romanos ya empezaron con la aplicación de los morteros de cemento. las propiedades de resistencia tanto mecánicas como resistencia al fuego han sido potencialmente favorables. Además, ha tenido un fuerte empleo en la arquitectura el desarrollo de grandes construcciones y edificaciones que siempre han estado en la vanguardia y liderando el ámbito de la construcción [1]

En la investigación realizada por Bustos *et al.* [2] denominada: “*Residuos de construcción y demolición (RCD)*” La industria de la construcción es la principal causa de generación de residuos de demolición actualmente y esta conlleva una contaminación a lo largo de todos sus procesos que van desde la fabricación hasta la edificación de muchas actividades en la construcción de las obras civiles adicional a esto se provoca un agotamiento de los recursos no renovables como son el aire y el agua. La construcción ha sido un pilar muy necesario para el desarrollo de nuestras ciudades y el exceso de materiales y derrocamientos de edificios se los puede reutilizar y de esa manera cuidar el medio ambiente.

El ámbito de la construcción genera un gran desarrollo para países vanguardistas y subdesarrollados esto tiene un gran impacto a nivel mundial pues emite grandes cantidades de CO₂ lo cual aumenta el efecto invernadero materiales como el cemento y la grava son los más explotados a nivel mundial. En el continente europeo las demoliciones son cerca de 350 millones de toneladas provenientes de la construcción y demolición y como materiales predominantes es el concreto y escombros una tercera parte de estos desperdicios son alojados en vertederos y países como China están impulsando el reciclaje de estos áridos y emplearlos en la construcción de nuevos edificios con el deber de preservar los recursos naturales[3]

A nivel internacional según Moro [[4] en su investigación “*Caracterización y durabilidad de hormigones reciclados: corrosión de armaduras*” menciona que en la última década países como Alemania, Dinamarca y otros países del continente europeo han mostrado un gran interés por el reciclaje del hormigón para promover la sustentabilidad de las

construcciones. Se implementan varias opciones para la elaboración del hormigón reciclado y mejorar características en los tipos de hormigones. Se han empezado moldeando probetas con el 50% de reemplazo del agregado grueso natural por hormigón triturado y estos han sido sometidos a varias pruebas de laboratorio y también se han empezado a reducir los porcentajes de material reciclado obteniendo mejores resistencias a la compresión y flexión

En la actualidad el alto volumen de residuos provenientes de la construcción aproximadamente el 75% corresponde a residuos inertes de origen pétreo coloquialmente llamado escombros y el porcentaje restante 25% es una mezcla de varios materiales de diferentes orígenes y peligrosidades. Es importante clasificar y diferenciar los distintos residuos para conseguir un mejor resultado en la reutilización y reciclado de estos áridos, en primer lugar, los áridos deben ser clasificados según su origen para tener en cuenta sus características Y en segundo lugar la clasificación será de acuerdo con la naturaleza del residuo tomando en cuenta sus problemas de gestión. Los residuos de demolición pueden ser procedentes de obras en construcción y también procedentes de obras de demolición[5]

Así mismo el hormigón es el segundo material de mayor demanda a nivel mundial después del agua y este constituye un pilar fundamental en el desarrollo urbanístico, aproximadamente en el 2006 en el mundo se consumieron entre 21 y 31 billones de toneladas de concreto. El reciclaje del hormigón en muchos países europeos ya está bien establecida y el concreto puede ser triturado y reutilizado como un agregado obteniendo grandes beneficios como la reducción de desechos en vertederos de basura y degradación asociada de la tierra además permite la sustitución de recursos vírgenes y daño ambiental asociado a la explotación de recursos naturales, en países en vías de desarrollo el reciclaje del hormigón aún no está bien establecido pero se espera que poco a poco las industrias del reciclaje vayan ganando lugar en el ámbito de la construcción [6]

Estudios a nivel internacional realizados por Ortiz *et al.* [7] el reciclado del hormigón es una práctica que en los países europeos ya se está manejando sin embargo la práctica es limitada resultados estructurales y pues cada país rige su normativa es el caso como Inglaterra, España y Holanda en donde su reutilización no puede superar el 20% y en otros países de la Unión Europea como en Alemania está permitido un máximo del 45%. En cada país el máximo de reutilización del hormigón es muy variable y hay que tomar

en cuenta que la trituración del hormigón también produce un gasto energético por lo que en varias ocasiones no es muy económico realizar esta práctica pues también el transporte carga y desalajo influye en un impacto ambiental.

Por otra parte, Rea[8] en su investigación “*Plan de gestión de residuos generados en construcciones de vivienda multifamiliar en el Ecuador*” En el Ecuador el sector productivo de la construcción es el que aporta el mayor desarrollo pues el 10% del porcentaje interno bruto se lleva esta actividad. La construcción es uno de los pilares más importantes en la economía nacional pues es la generadora de muchos empleos y así mismo presenta graves problemas ambientales pues en el Ecuador aún no existe una normativa ni lineamientos que ayuden a la generación de residuos y su disposición final por lo que se dificulta mantener un plan sostenible para esta actividad de residuos. El objetivo es implementar líneas de control y gestión para la disposición final de los residuos provenientes de la construcción.

En el ámbito nacional Holcim[9] en su investigación “*Por un futuro sin residuos*” con su modelo GEOCYCLE para la gestión de residuos a través de un procesamiento legal internacional logra un desempeño ambiental reduciendo significativamente las de emisiones de gases de efecto invernadero, todo esto con la finalidad de cuidar nuestro ecosistema. Holcim es una empresa líder a nivel nacional la cual estos últimos años se ha dedicado al reciclaje y producción de cemento con métodos y soluciones sustentables en la disposición de residuos y reducción de emisiones de CO₂. Todos los materiales productos del desecho son analizados y controlados por especialistas con el fin de garantizar una calidad salud y seguridad hacia el medio ambiente.

Así mismo en la investigación “*Aprovechamiento de los residuos provenientes de Cilindros y Vigas de Hormigón*” realizada por Muñoz, Ñacata y Guerra [10] en la universidad central del Ecuador se han realizado ensayos sobre el reciclaje del hormigón con la finalidad de reducir los escombros y dar paso a un nuevo agregado el cual será utilizado para distintas obras civiles, las probetas de hormigón elaborados con una dosificación óptima se han logrado obtener resistencias similares a las del hormigón tradicional basados en la norma técnica ecuatoriana NTE INE 643 para cada probeta, los costos de la fabricación de probetas de hormigón reciclado son similares a los del hormigón tradicional

También Gutiérrez[11] en su investigación “*Hormigón reciclado estructural: utilización de árido reciclado procedente de escombros de hormigón*” menciona que sí es viable el reemplazo de árido reciclado en la fabricación del hormigón estructural sin embargo para usar este agregado es necesario limitarse a la utilización de áridos reciclados procedentes de residuos de construcción y derrocamientos constituidos de hormigón, además la aplicación de la fracción gruesa del árido reciclado deberá tener un tamaño tres cuartos de pulgada, para el reemplazo del árido en el hormigón estructural se recomienda una combinación del árido natural grueso con un porcentaje máximo del 20% de árido reciclado y es muy importante que el hormigón reciclado a emplearse cumple las especificaciones que se exigen a los áridos naturales para la fabricación de hormigones estructurales.

Hoy en día en un estudio efectuado por Xargay y Ripani [12] mencionan que la mecánica de los hormigones de elaborados con agregados gruesos reciclados la resistencia a compresión y el módulo de Young disminuyen conforme va aumentando el reemplazo de los agregados, del hormigón triturado como reemplazo a los agregados gruesos de procedencia natural modifica las propiedades principales de la mezcla y cabe recalcar que la degradación a la resistencia y rigidez En consecuencia a la mayor porosidad y capacidad de absorción de agua de los agregados reciclados.

Según el estudio de factibilidad y caracterización de áridos realizado por Gámes, Saldaña y Gómez[13] muestran que las propiedades físicas y mecánicas del hormigón original tiene una repercusión en las características de los áridos reciclados por lo que es un factor a considerar en el proceso de obtención de estos, el triturado es fundamental para la obtención específica de las curvas de granulometría y módulo de finura para el caso de áridos finos, la trituradora de mandíbula es una maquinaria eficiente y eficaz para la obtención de los agregados gruesos triturados. Es importante identificar características y procedencia de la materia prima de la cual se obtendrá el agregado grueso reciclado para establecer si cumple o no con las características para su reemplazo, los áridos procedentes de desechos de hormigón de pavimentos tienen ventajas mecánicas y físicas en comparación con los áridos provenientes de demoliciones.

De la misma manera Zega, Taus y Maio [14] en su estudio “Comportamiento físico-mecánico de hormigones reciclados elaborados con canto rodado” mencionan que la resistencia a compresión del hormigón va directamente influenciada por la textura y

rugosidad del árido que se emplea pues este modificará la adherencia entre todos los materiales que conforman la mezcla, los agregados reciclados productos de devoluciones y trituración de hormigones poseen una textura mayor que el agregado natural por lo tanto afecta a las características y propiedades de los hormigones

Por otro lado, Sangay y Régulo [15] concluyen que el efecto de los agregados como material reciclado sobre el concreto en un diseño a los 28 días de edad los resultados de experimentales mostraron que su resistencia es un 15% menor que los especímenes elaborados con agregados naturales.

Finalmente, estudios realizados por Zega y Claudio [16] en su investigación denominada “*Propiedades físico-mecánicas y durables de hormigones reciclados*” mencionan que el comportamiento mecánico de hormigones elaborados con 25% y 75% de agregados gruesos reciclados poseen una semejanza con los hormigones elaborados de manera tradicional, se han realizado varias evaluaciones de resistencias a compresión, tracción por compresión diametral y módulo de rotura en flexión. La investigación concluye también que los agregados naturales pueden tener mayor influencia en relación agua cemento sobre algunas propiedades de los agregados gruesos reciclados como son la densidad absorción de agua y resistencia a la abrasión.

1.2 JUSTIFICACIÓN

El propósito de este trabajo experimental nace en la importancia de elaborar hormigón simple a partir de materiales reciclados provenientes de hormigones demolidos los cuales podrían ser reutilizados de una manera eficiente[17]

El hormigón es uno de los materiales más producidos a nivel mundial en obras civiles y en grandes volúmenes, los cuales cuando son demolidos en infraestructuras inservibles producen una gran cantidad de desperdicios, en varios países del continente europeo se ha tomado la iniciativa del reciclaje y esto ayuda en la reducción de costos de elaboración, fabricación y también se ayuda al cuidado del medio ambiente[18]

El empleo de desperdicios de construcción y derrocamiento como reemplazo de agregados gruesos o finos tiene su justificación en el tema de cuidado ambiental la reducción y conservación de recursos naturales, el empleo de los áridos reciclados posee grandes beneficios pues disminuirán grandes cantidades que son alojadas en sitios inadecuados otro factor importante que al disminuir la cantidad de agregados naturales se conservarán fuentes no renovables[19]

La idea de la reutilización de materiales desechados de las construcciones con una adecuada selección tratamiento y acopio para la elaboración de los futuros agregados gruesos y finos del hormigón tradicional presenta un fuerte aporte para que un próximo futuro se trabaje con técnicas de vigas recicladas generando estructuras amigables al medio ambiente[19]. El empleo de hormigón a base de materiales reciclados en varios países ya es evidente un ejemplo de esto en la Ciudad de México se ha empleado material reciclado para producir concreto hidráulico un material bastante innovador el cual puede abatir costos y abaratar la edificación[20]

Este trabajo experimental tiene como finalidad elaborar vigas de hormigón con material reciclado proveniente de los desechos de las obras civiles derrocamientos y demoliciones a partir de la trituración de estos materiales para producir agregados gruesos y finos y comprobar que es factible obtener una resistencia de hormigón estructural funcional y que se pueda emplear en construcciones amigables al medio ambiente.

1.3 OBJETIVOS

Objetivo general

Comparar el comportamiento a flexión de vigas de hormigón fabricadas con agregados de material reciclado y vigas elaboradas de manera convencional.

Objetivos específicos:

- Realizar ensayos de laboratorio del material obtenido a partir de hormigón reciclado.
- Elaborar vigas de hormigón simple con diferentes dosificaciones de hormigón reciclado.
- Analizar los resultados obtenidos al ensayar las vigas de hormigón simple con material reciclado y de las vigas con materiales convencionales.

CAPÍTULO II.- METODOLOGÍA

Para realizar este trabajo experimental se ha dividido en cuatro fases las cuales están secuencialmente divididas en base a las actividades y materiales que se va utilizando durante todo el proceso.

2.1 Materiales

Para el desarrollo del presente trabajo experimental se detalla los materiales empleados según cada objetivo.

Materiales para el desarrollo del objetivo 1

Objetivo 1:

- Realizar ensayos de laboratorio del material obtenido a partir de hormigón reciclado.

ENSAYO: Análisis granulométrico del agregado grueso	
MATERIALES	DETALLE
Grava	- Grava triturada proveniente de la mina Kumochi - ciudad Ambato - Tamaño ¾” - Cumple la norma NTE INEN 872[21]
Hormigón reciclado	- Hormigón reciclado proveniente de los escombros de los laboratorios de la FICM - UTA - Tamaño ¾” - Cumple la norma NTE INEN 872[21]
Tamices metálicos con abertura: 2”, 1 1/2”, 1”, 3/4”, 1/2”, 3/8”, #4 y bandeja	Nos permiten realizar los controles de granulometría de la grava y hormigón reciclado[22] - Tamices proporcionados por el laboratorio de la facultad de Ingeniería Civil - Dimensiones: 50 x 50 cm
Balanza electrónica	- Balanza electrónica proporcionada por el laboratorio de la facultad de Ingeniería Civil - Unidad (Kg)

ENSAYO: Análisis granulométrico del agregado fino

MATERIALES	DETALLE
Arena	<ul style="list-style-type: none">- Arena natural proveniente de la mina Kumochi- ciudad Ambato- Tamaño fino- Cumple la norma NTE INEN 872[21]
Tamizadora eléctrica	<ul style="list-style-type: none">-Tamices proporcionados por el laboratorio de la facultad de Ingeniería Civil- Marca “controls”- Capacidad 15 tamices
Tamices con abertura: 3/8”, #4, #8, #16, #30, #50, #100, #200 y bandeja	<ul style="list-style-type: none">-Tamices proporcionados por el laboratorio de la facultad de Ingeniería Civil- Dimensiones: diámetro de 25 cm
Balanza electrónica	<ul style="list-style-type: none">- Balanza electrónica proporcionada por el laboratorio de la facultad de Ingeniería Civil- Marca “Boeco”- Unidad (g)

ENSAYO: Densidad aparente suelta y compactada de los agregados fino y grueso

MATERIALES	DETALLE
Arena y ripio	<ul style="list-style-type: none">- Arena natural y ripio proveniente de la mina Kumochi- ciudad Ambato- Tamaño arena fina y ripio 3/4”- Cumple la norma NTE INEN 872[21]
Hormigón reciclado	<ul style="list-style-type: none">- Hormigón reciclado proveniente de los escombros de la UTA- Tamaño 3/4”- Cumple la norma NTE INEN 872[21]
Molde metálico para densidad aparente	<ul style="list-style-type: none">-Moldes proporcionados por el laboratorio de la facultad de Ingeniería Civil

	- Dimensiones diámetro 30 cm
Balanza electrónica	- Balanza electrónica proporcionada por el laboratorio de la facultad de Ingeniería Civil - Unidad (Kg)
Varilla compactadora	- Varilla proporcionada por el laboratorio de la facultad de Ingeniería Civil - Dimensiones 6.1 x 1.6 cm
<i>ENSAYO: Densidad real y capacidad de absorción del agregado grueso</i>	
MATERIALES	DETALLE
Grava	- Grava proveniente de la mina Kumochi- ciudad Ambato - Tamaño ripio ¾” - Cumple la norma NTE INEN 872[21]
Canastilla metálica malla #8	- Canastilla metálica proporcionada por el laboratorio de la facultad de Ingeniería Civil - Dimensiones 20.3 * 20.3 cm - Material de acero inoxidable
Horno eléctrico	- Horno proporcionado por el laboratorio de la facultad de Ingeniería Civil - Voltaje 110 V - Control de temperatura regulable 232 °C
Balanza electrónica	- Balanza electrónica proporcionada por el laboratorio de la facultad de Ingeniería Civil - Unidad (Kg)
<i>ENSAYO: Densidad real y capacidad de absorción del agregado fino</i>	
MATERIALES	DETALLE
Arena	- Arena natural proveniente de la mina Kumochi- ciudad Ambato - Tamaño fino

	- Cumple la norma NTE INEN 872[21]
Picnómetro y pipeta	Es un instrumento de laboratorio utilizado para medir las densidades de las sustancias [23] - Picnómetro y pipeta proporcionados por el laboratorio de la facultad de Ingeniería Civil - Material de vidrio - Volumen 500 ml
Cono de absorción de arena y pisón	- Cono y pisón proporcionados por el laboratorio de la facultad de Ingeniería Civil - Material del cono: bronce, material del pisón: acero - Dimensiones: Cono diámetro: 40 y 90 mm con altura 75mm Pisón diámetro: 25.5 mm con altura 170 mm
Horno eléctrico	- Horno proporcionado por el laboratorio de la facultad de Ingeniería Civil - Voltaje 110 V - Control de temperatura regulable 232 °C
Balanza electrónica	- Balanza electrónica proporcionada por el laboratorio de la facultad de Ingeniería Civil - Unidad (Kg)
<i>ENSAYO: Densidad real del cemento</i>	
MATERIALES	DETALLE
Cemento tipo GU	- Utilizado para construcciones de uso general - Cumple la norma NTE INEN 2380[24] - Marca: Holcim

Gasolina	<p>Constituido por una mezcla de hidrocarburos y empleado como combustible para motores[25]</p> <p>- Gasolinera petróleos y servicios</p>
Picnómetro y pipeta	<p>Es un instrumento de laboratorio utilizado para medir las densidades de las sustancias [23]</p> <p>- Picnómetro y pipeta proporcionados por el laboratorio de la facultad de Ingeniería Civil</p> <p>- Material de vidrio</p> <p>- Volumen 500 ml</p>
<i>ENSAYO: Contenido de Humedad</i>	
MATERIALES	DETALLE
Arena y ripio	<p>- Arena natural y ripio proveniente de la mina Kumochi- ciudad Ambato</p> <p>- Tamaño arena fina y ripio ¾”</p> <p>- Cumple la norma NTE INEN 872[21]</p>
Horno eléctrico	<p>- Horno proporcionado por el laboratorio de la facultad de Ingeniería Civil</p> <p>- Voltaje 110 V</p> <p>- Control de temperatura regulable 232 °C</p>

Tabla 1. Materiales y equipos utilizados para el cumplimiento del objetivo 1
Fuente: Joseph Henry Sánchez Freire

Materiales para el desarrollo del objetivo 2

Objetivo 2:

- Elaborar vigas de hormigón simple con diferentes dosificaciones de hormigón reciclado

MATERIALES	DETALLE
Moldes para vigas	<ul style="list-style-type: none">- Moldes elaborados manualmente- Dimensiones largo 35 cm, altura 10cm, ancho 10cm.
Cono de Abrams	<ul style="list-style-type: none">- Material proporcionado por el laboratorio de la facultad de Ingeniería Civil- Dimensiones base superior 100 mm; base inferior 200mm; altura 300mm- Geometría: cono- Cumple la norma NTE INEN 1578[26]
Concreteira eléctrica	<ul style="list-style-type: none">- Voltaje 110 a 220 V- Cumple la norma NTE INEN 1855-1[27]
Varilla compactadora	<ul style="list-style-type: none">- Varilla proporcionada por el laboratorio de la facultad de Ingeniería Civil- Dimensiones: 6.1 * 1.6 cm- Cumple la norma NTE INEN 1576, ASTM C31
Martillo de goma	<ul style="list-style-type: none">-Material proporcionado por el laboratorio de la facultad de Ingeniería Civil- Material: caucho sintético- Cumple la norma NTE INEN 1576, ASTM C31
Cámara de curado	<ul style="list-style-type: none">- Cámara de curado del laboratorio de la facultad de Ingeniería Civil- Temperatura 23°C ± 2°C

	<ul style="list-style-type: none"> - Dimensiones: base superior 100 mm; base inferior 200mm; altura 300mm - Cumple la norma NTE INEN 2528[28] y ASTM C330
Agua	<ul style="list-style-type: none"> - Tipo: potable - Temperatura ambiente - Cumple la norma NTE INEN 1108[29]

Tabla 2. Materiales y equipos utilizados para el cumplimiento del objetivo 2

Fuente: Joseph Henry Sánchez Freire

Materiales para el desarrollo del objetivo 3

Objetivo 3:

- Analizar los resultados obtenidos al ensayar las vigas de hormigón simple con material reciclado y de las vigas con materiales convencionales.

MATERIALES	DETALLE
Máquina de compresión y flexión	<ul style="list-style-type: none"> -Máquina hidráulica a prueba de explosiones proporcionada por el laboratorio de la facultad de Ingeniería Civil - Marca Shimadzu, software: Trapezium X - Capacidad 40 a 2000 KN.
Soportes y acoples para ensayar a flexión	-Acoples proporcionados por el laboratorio de la facultad de Ingeniería Civil

Tabla 3. Materiales y equipos utilizados para el cumplimiento del objetivo 2

Fuente: Joseph Henry Sánchez Freire

2.2 Métodos

El presente trabajo experimental se definió en cuatro etapas las cuales mencionaremos a continuación:

	Etapa	Tipo de investigación	Objetivo
Primera	Preliminar	Bibliográfica De campo	Recopilar información bibliográfica para incrementar el conocimiento técnico sobre el tema de investigación.
Segunda	Propiedades mecánicas de los agregados	De laboratorio	Realizar ensayos de laboratorio del material obtenido a partir de hormigón reciclado
Tercera	Elaboración de vigas con hormigón reciclado y tradicionales	De laboratorio	Elaborar vigas de hormigón simple con diferentes dosificaciones de hormigón reciclado
Cuarta	Ensayos a flexión de las vigas	Descriptiva	Analizar los resultados obtenidos al ensayar las vigas de hormigón simple con material reciclado y de las vigas con materiales convencionales

Tabla 4. *Etapas del proyecto*
Fuente: Joseph Henry Sánchez Freire

2.2.1 Etapa 1. Preliminar

La primera etapa de esta investigación consiste en una amplia investigación bibliográfica y también la obtención de la materia prima que será utilizada para la elaboración de las probetas con hormigón reciclado y con agregados naturales.

2.2.1.1 Investigación bibliográfica

En esta etapa de investigación bibliográfica la información recolectada es basada en libros, revistas, artículos, periódicos, documentos y normas internacionales y nacionales de alto nivel científico los cuales brindan una información confiable para realizar el presente trabajo experimental. La investigación bibliográfica toma en cuenta todo el conocimiento sobre el tema de interés en el cual estamos trabajando y así ir desarrollando cada objetivo de la investigación en este proyecto experimental[30]

2.2.1.2 Obtención de materia prima

Para la obtención de materia prima nos trasladamos a sectores de minas en nuestra ciudad de Ambato para obtener agregados pétreos naturales provenientes de las montañas y para la obtención de material reciclado nos hemos dirigido hacia el depósito de hormigones de laboratorio de ingeniería civil en dónde se encuentran probetas de hormigón antes ya elaboradas por estudiantes las mismas que fueron trituradas en una mina de la ciudad de Ambato

Los agregados pétreos se obtuvieron de la mina Kumochi ubicado en el sector las viñas de la ciudad de Ambato, en la mina se cuenta con una variedad de tamaños de los agregados pétreos que van desde polvo de piedra y ripio triturado de tamaño 1", ¾", 3/8", arena normal y arena lavada.



Figura 1. Planta de trituración Kumochi sector las Viñas
Fuente: Joseph Henry Sánchez Freire

➤ Material reciclado

Para la obtención del material reciclado primero se acudió al depósito de escombros de laboratorio de ingeniería civil en donde se obtuvieron las probetas aisladas elaboradas de hormigón las mismas que en una camioneta fueron trasladadas a la mina trituradora “Kumochi”, se presentó un oficio dirigido a la mina Kumochi por parte de la Universidad Técnica de Ambato para que nos ayuden con la trituración de las probetas y una vez aprobada la solicitud se procedió con la trituración.

Durante el proceso de trituración primero se colocó las probetas en la caldera de la trituradora y mediante unas bandas se iba separando los tamaños de los agregados en $\frac{3}{4}$ ”, $\frac{3}{8}$ ” y polvo de piedra. En sacos se iba recolectando los agregados que nos interesaban los $\frac{3}{4}$ ” y en la medida que cada saco se llenaba inmediatamente se colocaba otro al final de la banda clasificadora del material, al momento de la recolección del material se procuraba tener mucho cuidado pues el polvo de la piedra afectaba bastante a la visibilidad y a la respiración, finalmente los costales estaban llenos del material que necesitábamos y se procedió a llevar nuevamente a los laboratorio de la universidad técnica de Ambato



Figura 2. Probetas de hormigón para ser trituradas
Fuente: Joseph Henry Sánchez Freire



Figura 3. Maquina trituradora
Fuente: Joseph Henry Sánchez Freire



Figura 4. Material triturado
Fuente: Joseph Henry Sánchez Freire

2.2.2 Ensayos de los agregados

En esta etapa se van realizando varios ensayos para cada uno de los agregados los cuales serán empleados en la elaboración de las vigas, es de vital importancia estos ensayos pues nos permitirán conocer las propiedades de estos y preparar una dosificación adecuada para poder llegar a una resistencia de 240 kg/cm².

ENSAYO	MATERIAL	NORMATIVA
Análisis granulométrico	Agregado fino y grueso	ASTM C 136 NTE INEN 696
Contenido de humedad	Agregado fino y grueso	ASTM C 566 NTE INEN 862
Densidad real del cemento	Cemento Holcim tipo GU - Gasolina	ASTM C 188 NTE INEN 156
Densidad combinada de los agregados	Agregado fino y grueso	ASTM C 29 NTE INEN 858
Densidad real y capacidad de absorción del agregado fino	Agregado fino	ASTM C 128 NTE INEN 856
Densidad real y capacidad de absorción del agregado grueso	Agregado grueso	ASTM C 127 NTE INEN 857
Densidad aparente suelta y compactada	Agregado fino y grueso	ASTM C 29 NTE INEN 858

Tabla 5. Ensayos y materiales

Fuente: Joseph Henry Sánchez Freire

2.2.2.1 Análisis granulométrico

El ensayo de granulometría se basa en la clasificación de tamaños de los agregados mediante un método manual o mecánico. Para su clasificación se emplean tamices con diferentes aberturas llamados la serie de Taylor los cuales van aumentando en una relación de dos a uno, según la norma NTE INEN 696.

Tamiz	200	100	50	30	16	8	4	3/8"	3/4"	1½"	3"
Abertura (mm)	0.075	0.15	0.30	0.60	1.18	2.36	4.75	9.50	19	37.5	75

Tabla 6. Tamices de la serie de Tyler

Fuente: NTE INEN 872[21]

2.2.2.2 Granulometría del agregado fino

Para que una arena sea empleada en la elaboración del hormigón y sea de buena calidad debe cumplir con la siguiente normativa NTE INEN 872 y estar dentro de los límites establecidos.

Tamiz NTE INEN	Tamiz ASTM	% que pasa
9.5 mm	3/8"	100
4.75 mm	#4	95 a 100
2.36 mm	#8	80 a 100
1.18 mm	#16	50 a 85
600 µm	#30	25 a 60
300 µm	#50	10 a 30
150 µm	#100	2 a 10

Tabla 7. Límites especificados para el agregado fino.

Fuente: NTE INEN 872[21]

2.2.2.3 Granulometría del agregado grueso

Para que el agregado grueso sea empleado en la elaboración del hormigón y sea de buena calidad debe cumplir con la siguiente normativa NTE INEN 872 y estar dentro de los límites establecidos.

Tamiz NTE INEN	Tamiz ASTM	% que pasa
50.80 mm	2"	100
38.10 mm	1 ½"	95 a 100
26.67 mm	1"	-
18.85 mm	¾"	35 a 70
13.32 mm	½"	-
9.5 mm	3/8"	10 a 30
0.15 mm	#4	0 a 5

Tabla 8. Límites especificados para el agregado grueso.

Fuente: NTE INEN 872[21]

Tamaño nominal máximo: Es el valor de la dimensión máxima de tamaño que tiene la grava y se recomienda para el hormigón normal un tamaño que varía entre ¾" a 1 ½" siempre y cuando se cumplan los límites anteriormente especificados en la tabla.

$TNM = \text{porcentaje acumulado mayor al } 15\%$

2.2.2.3.1 Granulometría del agregado reciclado

Para el agregado reciclado utilizamos el hormigón reciclado y se realizó la granulometría tomando en cuenta como un agregado grueso por lo tanto los límites que debe cumplir son los mismos que la tabla 8. También se obtuvo un tamaño nominal máximo del agregado reciclado

2.2.2.4 Densidad aparente suelta y compactada de los agregados

La densidad aparente es la relación existente entre el peso del agregado y el volumen que llenan las partículas del agregado incorporado con todos los poros en estado saturados y no saturados[31].

La densidad compactada de los agregados se realiza golpeando la muestra en tres capas con 25 golpes con una parrilla compactadora como indica la norma INEN 858.

Para obtener la densidad aparente suelta y compactada del agregado grueso de la arena y del hormigón reciclado es mediante la siguiente fórmula:

$$\text{Densidad aparente suelta y compactada} = \frac{Mm}{Vm}$$

Donde:

Mm : Masa total de la muestra del agregado

Vm : Volumen total ocupado por la muestra de agregado

2.2.2.5 Densidad aparente combinada de los agregados

Al igual que en el ensayo de la densidad aparente suelta y compactada aquí también se obtiene la densidad del material y mediante una mezcla en conjunto de grava y arena, se deben ir agregando cantidades de agregado fino hasta que se tenga una mezcla del 40% de ripio y 60% arena como se indica en la tabla 8, durante la adición de la arena se debe ir compactando la mezcla en tres capas con 25 golpes y después se deberán obtener los pesos y el volumen para calcular cada una de ellas. Finalmente, con los promedios de densidad y porcentaje se realiza una curva para identificar la densidad mayor y los porcentajes óptimos de la mezcla entre arena y ripio, el resultado nos permite obtener una dosificación.

% Mezcla		Cantidad (kg)		Fino Añadido (kg)	Agregado + Recipiente (kg)	Agregado (kg)	Peso Unitario Mezcla (kg/dm ³)	Peso Unitario Promedio (kg/dm ³)
A	B	Ripio	Arena	A	Agregado fino + agregado grueso			
100.00	0.00	40.00	0.00	0.00				
90.00	10.00	40.00	4.44	4.44				
80.00	20.00	40.00	10.00	5.56				
70.00	30.00	40.00	17.14	7.14				
60.00	40.00	40.00	26.67	9.53				
50.00	50.00	40.00	40.00	13.33				
40.00	60.00	40.00	60.00	20.00				

Tabla 9. Tabla para obtener la densidad compactada de la mezcla

Fuente: NTE INE 858[31]

2.2.2.6 Densidad real y capacidad de absorción del agregado grueso

La densidad real es la relación del peso del agregado y el volumen que ocupa solamente la masa sólida, en otras palabras, se excluyen todos los poros tanto saturados y no saturados[32].

La densidad real del agregado grueso está bajo la norma NTE INEN 857 y para obtener esta propiedad se necesita una muestra del agregado en estado SSS (saturado superficialmente seco).

A continuación, la fórmula para obtener la densidad real:

$$DRR = \frac{M_{SSS}}{\frac{M_{SSS} - M_{en\ agua}}{Densidad\ del\ agua}}$$

Donde:

DRR= Densidad real del ripio

M_{SSS} = Masa en condición saturada superficie seca

$M_{en\ agua}$ = Masa en contacto con el agua

M_{seco} = Masa en condición seca

La absorción es la capacidad de observar agua que posee un agregado después de mantenerse sumergido durante 24 horas en agua para lo cual después de este tiempo se

debe retirar la muestra y llegar a la condición (SSS). Este valor para agregado grueso se encuentra entre 0,2% y 4%[33], se calcula con la siguiente fórmula

$$CA(\%) = \frac{M_{sss} - M_{seco}}{M_{seco}} \times 100$$

Donde:

CA (%): Capacidad de absorción

M_{sss} = Masa en condición saturada superficie seca

M_{seco} = Masa en condición seca

2.2.2.7 Densidad real y capacidad de absorción del agregado fino

Para el agregado fino bajo la norma ecuatoriana INE 856 menciona que la muestra debe estar en estado SSS para calcular la densidad real mediante la siguiente fórmula:

$$DRA = \frac{M_{sss}}{V_{sss}}$$

DRA = Densidad real de la arena

M_{sss} = Masa en condición saturada superficie seca

V_{sss} = Volumen del agua

2.2.2.8 Densidad real del cemento

La norma ecuatoriana INEN 156 expresa el procedimiento para obtener la densidad real del cemento y esta se define como una relación entre el peso de la masa del cemento y el volumen de líquido con una densidad más baja que el cemento y no reactivo[34]

$$DRC = \frac{M_c}{V_g}$$

DRC = Densidad real de la arena

M_c = Masa del cemento

V_g = Volumen de la gasolina

2.2.2.9 Contenido de humedad

El ensayo de contenido de humedad nos permite determinar la cantidad de agua que poseen los agregados en un tiempo determinado y este valor se expresa en porcentaje (%)[35] Los valores obtenidos en este ensayo nos permiten obtener una dosificación.

$$\%C.H = \frac{W_w}{W_s} \times 100$$

$\%C.H$ = Porcentaje de contenido de humedad

$W_w = \text{Peso del agua}$

$W_s = \text{Peso muestra seca}$

2.2.3 Etapa 3. Elaboración de las vigas con hormigón natural y reciclado

2.2.3.1 Elaboración de moldes para las vigas

Durante esta etapa de elaboración de vigas con hormigón convencional y reciclado se utilizaron recipientes, equipos y materiales disponibles en los laboratorios de ingeniería civil de la Universidad Técnica de Ambato, sin embargo, el laboratorio no cuenta con la disponibilidad de los moldes y se recurrió a elaborarlos con madera de material melamina y con dimensiones de 10 cm de alto 10 cm de ancho y 35 cm de longitud.

2.2.3.2 Método de la densidad óptima

Utilizamos el método de la densidad óptima por parte de la universidad central del Ecuador el cual nos permite el cálculo de la dosificación del hormigón, el diseño se basa en la utilización de la menor cantidad de pasta necesaria para llegar a obtener un hormigón de calidad y así mismo obtener una combinación de partículas con el menor porcentaje de vacíos[36].

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

Tabla 10. Nomenclatura para el método de la densidad óptima.
Fuente: Seminario de investigación sobre el módulo de elasticidad

Procedimiento para la dosificación del hormigón a través del método de la densidad óptima

- Se determina la relación de agua y cemento de acuerdo con la resistencia que debemos llegar a los 28 días de acuerdo con la siguiente tabla:

F'c	relación agua /
MPa	cemento
45	0,37
42	0,4
40	0,42
35	0,46
32	0,5
30	0,51
28	0,52
25	0,55
24	0,56
21	0,58
18	0,6

Tabla 11. Resistencia a la compresión en función a la relación agua-cemento.

Fuente: Seminario de investigación sobre el módulo de elasticidad[36]

- b. Se procede a obtener la densidad real de la mezcla de los agregados (DRM) mediante la siguiente ecuación:

$$DRM = \frac{DRA * POA + DRR * POR}{100}$$

- c. Se calcula el porcentaje óptimo de vacíos (POV):

$$POV = \frac{DRM - DOM}{DRM} * 100$$

- d. Se calcula la cantidad de pasta (CP):

Se elegirá la ecuación según el asentamiento requerido para nuestro trabajo y este tendrá relación directa con la trabajabilidad y plasticidad.

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)

Tabla 12. Resistencia a la compresión en función a la relación agua-cemento.

Fuente: Seminario de investigación sobre el módulo de elasticidad[36]

- e. Calcular la cantidad de cemento (C)

$$C = \frac{CP}{\frac{W}{C} + \frac{1}{DRC}}$$

- f. Calcular la cantidad de agua (W)

$$W = \frac{W}{C} * C$$

- g. Calcular la cantidad de agregado fino (A)

$$A = (100 - CP) * \frac{DRA * POA}{100}$$

- h. Calcular la cantidad de agregado grueso (R)

$$R = (100 - CP) * \frac{DRR * POR}{100}$$

- i. Dosificación al peso

$$\text{Dosificación (WCAR)} = \frac{\text{Cantidad de material (WCAR) por m}^3}{\text{Cantidad de cemento (C)}}$$

La dosificación se calcula asumiendo que los materiales se encuentran en condición (SSS0 lo cual es poco probable que se encuentren en esta condición, por lo tanto, es necesario realizar una corrección por humedad de los agregados.

2.2.3.3. Corrección por humedad

Consiste en determinar el contenido de humedad de los agregados finos y gruesos un día antes de la preparación del hormigón, según la norma NTE INEN 856 - 857[32], posterior a la corrección de humedad se realiza la corrección del contenido de humedad en cada material mediante las siguientes ecuaciones:

$$\text{Arena} = \text{Peso(arena)} = \frac{100 + \%humedad (arena)}{100 + \%absorción (arena)}$$

$$\text{Ripio} = \text{Peso(ripio)} = \frac{100 + \%humedad (ripio)}{100 + \%absorción (ripio)}$$

2.2.3.4 Elaboración de probetas de muestras

Una vez conocidas las cantidades adecuadas para la dosificación, se elaboraron tres probetas para un ensayo de prueba y error y verificar si la dosificación calculada cumple con la resistencia de diseño, también se verificó el asentamiento y sus propiedades en estado fresco para luego ser ensayadas a los 7 días y en el caso de que no cumplan con la resistencia realizar correcciones en la dosificación y elaborarlas nuevamente, una vez obtenida la dosificación favorable se empezó a realizar las probetas definitivas.

2.2.3.5 Elaboración de probetas definitivas

Para la elaboración de vigas de hormigón reciclado se tomó en cuenta los diferentes reemplazos de hormigón reciclado con el 10% 15% 30% 60% y 100%, también se elaboró tres vigas con agregado grueso natural, es decir, sin reemplazo de material reciclado, las mismas que serán ensayadas a los 7 y 28 días de edad.

Una vez elaboradas las vigas después de 24 horas se procede a sacarlas de los moldes y a colocarlas en la cámara de curado.

El número total de vigas elaboradas para este trabajo experimental fueron de 36 las cuales se dividen en seis probetas para cada dosificación del 10% 15% 30% 60% 100% y finalmente vigas elaboradas con agregado natural.

% de AR	Número de vigas		
	Código	7 días	28 días
0%	VF_0	3	3
10%	VF_10	3	3
15%	VF_15	3	3
30%	VF_30	3	3
60%	VF_60	3	3
100%	VF_100	3	3
	TOTAL=	18	18

DIMENSIONES VIGA	
Base (m):	0.1
Altura (m):	0.1
Largo (m):	0.35
Volumen (m3)	0.0035

Tabla 13. Número de vigas a realizar

Fuente: Joseph Henry Sánchez Freire

2.2.3.6. Propiedades del hormigón fresco

El resultado de la mezcla de áridos finos y gruesos, cemento y agua se denomina hormigón fresco el mismo que cuenta con propiedades como trabajabilidad, segregación, consistencia y densidad las mismas que nos permiten entender el comportamiento que tendrá el hormigón en un futuro y tener en cuenta para correcto diseño.

2.2.3.6.1 Trabajabilidad

Esta característica determina la capacidad que tiene un hormigón para hacer manipulado y colocado en obra para ser terminado sin segregación alguna, el hormigón puede presentar varias alteraciones por factores como:

- Mayor cantidad de agua presenta mayor trabajabilidad, pero menor resistencia
- Mayor contenido de agregado fino presenta mejor trabajabilidad, pero más agua de amasado
- Áridos redondeados presentan una buena trabajabilidad, pero baja resistencia

2.2.3.6.2 Consistencia

La consistencia es la oposición que presenta el hormigón fresco a experimentar deformaciones, se mide en términos de asentamiento ASTM C 143 Y NTE INEN 1578. Es importante seleccionar una consistencia adecuada y para ello utilizamos los valores que se recomiendan usando el “CONO DE ABRAMS”. [26]

Consistencia	Asiento en cono de Abrams (cm)	Forma de compactación
Seca (S)	0 a 2	Vibrado energético en taller
Plástica (P)	3 a 5	Vibrado energético en obra
Blanda (B)	6 a 9	Vibrado o apisonado
Fluida (F)	10 a 15	Picado con barra
Líquida (L)	≥ 16	No apta para elementos resistentes

Tabla 14. Consistencias y formas de compactación

Fuente: Hormigón reciclado – Larot Mayorga [37]

La determinación de la consistencia del hormigón fresco se debe realizar mediante el “CONO DE ABRAMS” sin áridos de tamaño superior a 40 mm y con un molde metálico de forma cónico de material acero galvanizado estandarizado.

Las dimensiones del cono de Abraham son: diámetro base mayor 20 cm, diámetro de base menor 10 cm y una altura de 30 cm.

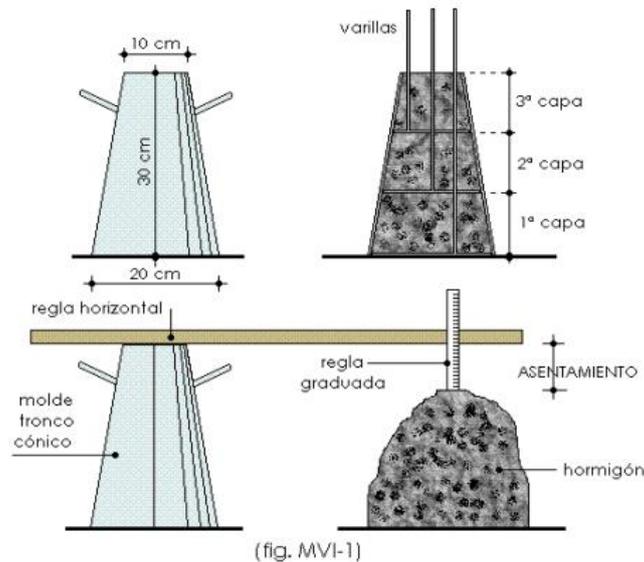


Figura 5. Cono de Abrams
Fuente: Joseph Henry Sánchez Freire

2.2.3.7. Curado del hormigón

El curado según la norma ACI 308 R, es el proceso por el cual el concreto elaborado con cemento hidráulico madura y se endurece con el tiempo, como resultado la de la hidratación continua del cemento en presencia de suficiente cantidad de agua y calor. El cemento requiere una cierta cantidad de agua para hidratarse ya que es posible solo en un espacio saturado[38].

La hidratación progresa muy lentamente cuando la temperatura del hormigón es inferior a los 10 grados centígrados por eso es importante que el curado del hormigón sea a temperatura ambiente a una temperatura de $23^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$.

2.2.3.8. Ensayos a flexión de vigas

Las vigas correctamente elaboradas serán ensayadas inmediatamente luego de ser sacadas del curado para evitar que pierdan resistencia, las vigas de hormigón no deben tener irregularidades y serán marcadas a los costados a una distancia $L/3$ para facilitarnos la colocación en la máquina que va a ensayar a flexión.

Las cargas se aplicarán con una velocidad constante de 0.01 MPa/s, provocando así que la viga falle al exceder su resistencia máxima[39].

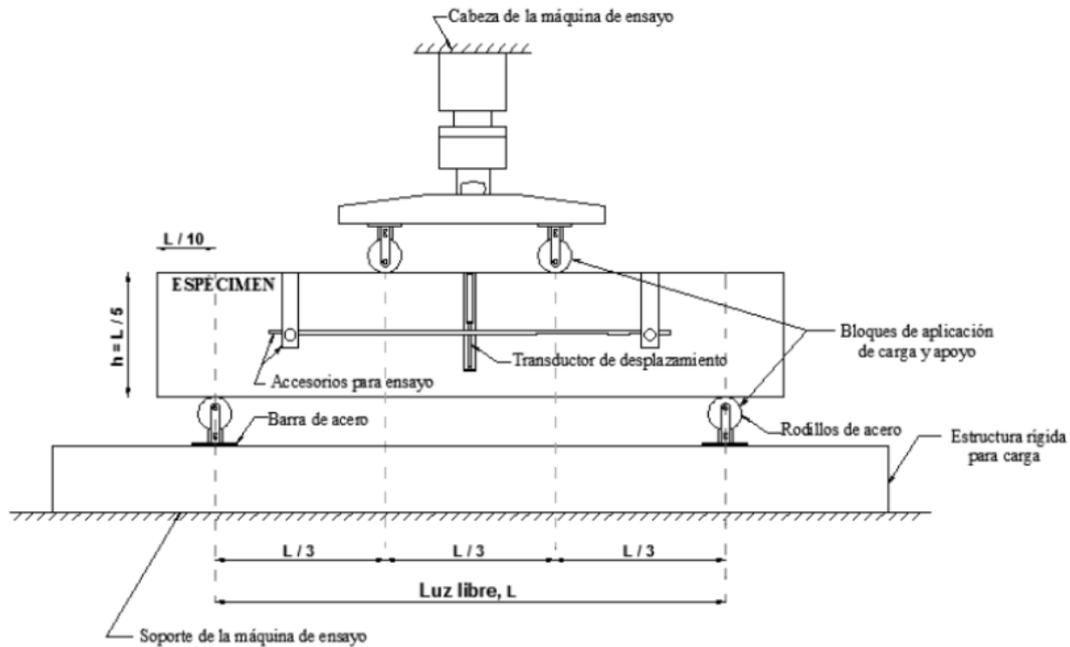


Figura 6. Esquema para ensayo a flexión.
Fuente: Norma ASTM C78

2.2.3.8.1 Módulo de rotura

La resistencia a la flexión se expresa como el Módulo de Rotura (MR) y es determinada mediante los métodos de ensayo ASTM C78[39]

Si la fractura está dentro del tercio medio de la longitud entre apoyos, el módulo de rotura (MPa) se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$MR = \frac{P * L}{b * d^2}$$

Donde:

P: Carga aplicada (N)

L: Longitud entre apoyos (mm)

b: Ancho promedio viga (mm)

d: Altura promedio viga (mm)

2.2.4 Etapa 4. Plan para análisis de resultados

Para obtener un punto de comparación entre las vigas elaboradas con material reciclado y vigas elaboradas de forma tradicional se realizó gráficas comparativas de hormigón

reciclado a los 7 y 28 días de edad donde se aprecia cuál es la proporción que permite que el hormigón conserve la resistencia de diseño.

CAPÍTULO III.- RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Análisis y discusión de resultados

3.1.1 Propiedades mecánicas de los agregados

- Análisis granulométrico del agregado fino

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL					
EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO A FLEXIÓN DE VIGAS DE HORMIGÓN SIMPLE, PREPARADO A PARTIR DE MATERIALES						
Origen:		MINA KUMUCHI				
Norma: NTE INEN 696 - ASTM C 136			Fecha:		10-abr	
Ensayado por:		Joseph Henry Sánchez Freire				
Peso muestra (gr):		1000	Pérdida de muestra (%):		0.33	
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DEL AGREGADO FINO						
Tamiz	Abertura (mm)	Retenido parcial (gr)	Retenido acumulado (gr)	% Retenido Acumulado	% Que pasa	Límite específico % que pasa
3/8	9.5	4.8	4.8	0.48	99.52	100
#4	4.75	23.6	28.4	2.84	97.16	95-100
#8	2.36	121.6	150	15.00	85.00	80-100
#16	1.18	181.8	331.8	33.18	66.82	50-85
#30	0.6	191.4	523.2	52.32	47.68	25-60
#50	0.3	207.3	730.5	73.05	26.95	10-30
#100	0.15	138	868.5	86.85	13.15	2-10
#200	0.08	62.5	931	93.10	6.90	
BANDEJA		65.7	996.7	99.67	0.33	
MÓDULO DE FINURA:				2.6372		
CURVA GRANULOMÉTRICA						

Tabla 15. Análisis granulométrico del agregado fino.

Fuente: Joseph Henry Sánchez Freire

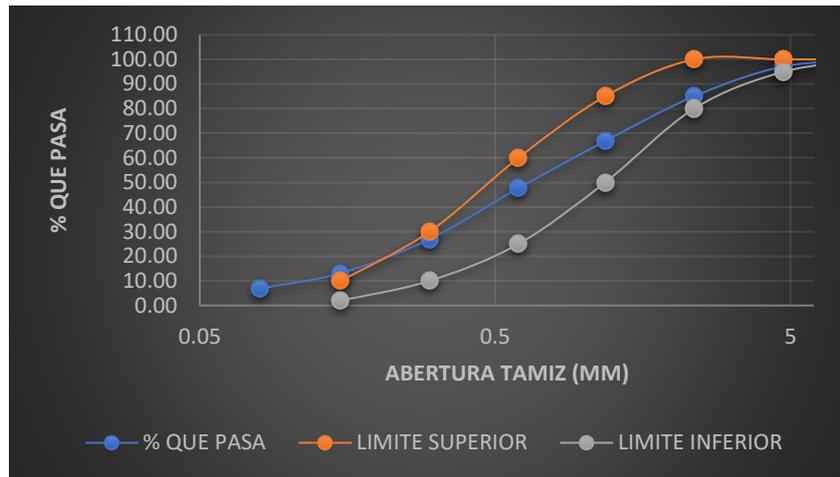


Figura 7. Análisis granulométrico del agregado fino.

Fuente: Joseph Henry Sánchez Freire

Análisis de resultados: El ensayo granulométrico para el agregado fino de la mina Kumochi determinó que sí es apto para la elaboración del hormigón pues la curva granulométrica resultante está dentro de los rangos establecidos la norma ASTM y posee un módulo de finura dentro del rango de 2,3 y 3,1 siendo un resultado de 2.63.

➤ Análisis granulométrico del agregado grueso

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL						
EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO A FLEXIÓN DE VIGAS DE HORMIGÓN SIMPLE, PREPARADO A PARTIR DE MATERIALES						
Origen:		MINA KUMUCHI				
Norma: NTE INEN 696 - ASTM C 136		Fecha:	10-abr			
Ensayado por:		Joseph Henry Sánchez Freire				
Peso muestra (gr):		10000	Pérdida de muestra (%): 0.07			
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DEL AGREGADO GRUESO						
Tamiz	Abertura (mm)	Retenido parcial (gr)	Retenido acumulado (gr)	% Retenido Acumulado	% Que pasa	Límite específico % que pasa
2"	50.8	0	0	0.00	100.00	100
1 1/2"	38.1	0	0	0.00	100.00	95 - 100
2"	25.4	85	85	0.85	99.15	-
3/4"	19.05	2913	2998	29.98	70.02	35 - 70
1/2"	12.7	4276	7274	72.74	27.26	-
3/8"	9.53	1998	9272	92.72	7.28	10 - 30
#4	4.75	686	9958	99.58	0.42	0-5
BANDEJA		35	9993	99.93	0.07	
TAMAÑO NOMINAL MAXIMO:				1"		
CURVA GRANULOMÉTRICA						

Tabla 16. Análisis granulométrico del agregado grueso.

Fuente: Joseph Henry Sánchez Freire

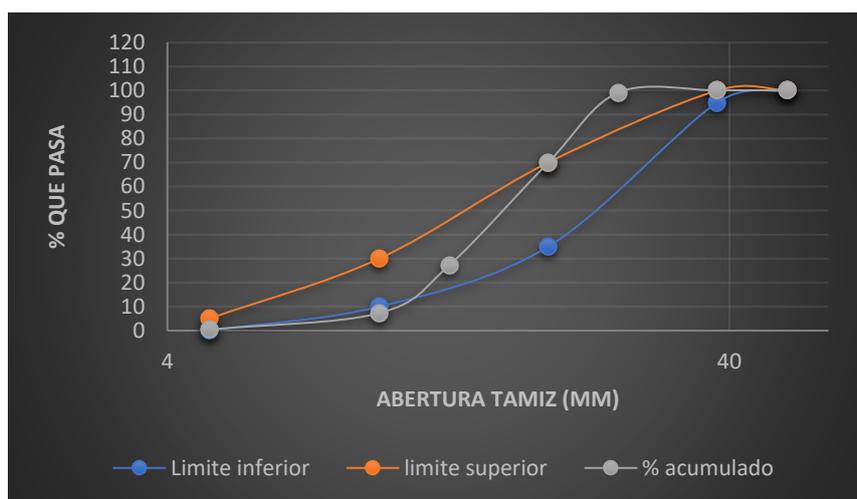


Figura 8. Análisis granulométrico del agregado grueso.

Fuente: Joseph Henry Sánchez Freire

Análisis de resultados: El ensayo granulométrico para el agregado grueso de la mina Kumochi determinó que sí es apto para la elaboración del hormigón pues la curva

granulométrica resultante está dentro de los rangos establecidos la norma ASTM y posee tamaño nominal máximo de 1' y está dentro del rango de ¾' y 1 ½''.

➤ Análisis granulométrico del agregado reciclado

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL						
EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO A FLEXIÓN DE VIGAS DE HORMIGÓN SIMPLE, PREPARADO A PARTIR DE MATERIALES						
Origen:		MINA KUMUCHI				
Norma: NTE INEN 696 - ASTM C 136		Fecha:	11-abr			
Ensayado por:		Joseph Henry Sánchez Freire				
Peso muestra (gr):		9750	Pérdida de muestra (%): 0.05			
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DEL AGREGADO RECICLADO						
Tamiz	Abertura (mm)	Retenido parcial (gr)	Retenido acumulado (gr)	% Retenido Acumulado	% Que pasa	Límite específico % que pasa
2"	50.8	0	0	0.00	100.00	100
1 1/2"	38.1	0	0	0.00	100.00	95 - 100
2"	25.4	99	99	1.02	98.98	-
3/4"	19.05	3853	3952	40.53	59.47	35 - 70
1/2"	12.7	3903	7855	80.56	19.44	-
3/8"	9.53	1753	9608	98.54	1.46	10 - 30
#4	4.75	107	9715	99.64	0.36	0-5
BANDEJA		30	9745	99.95	0.05	
TAMAÑO NOMINAL MÁXIMO:				1"		
CURVA GRANULOMÉTRICA						

Tabla 17. Análisis granulométrico del agregado reciclado

Fuente: Joseph Henry Sánchez Freire

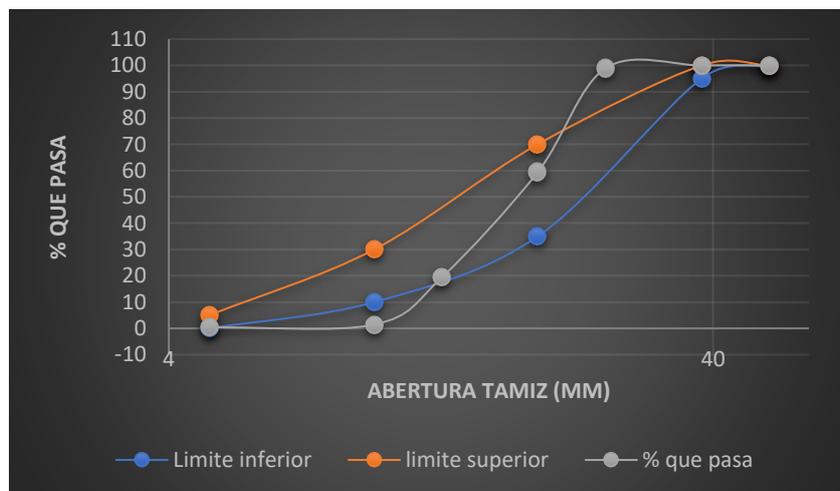


Figura 9. Análisis granulométrico del agregado reciclado.

Fuente: Joseph Henry Sánchez Freire

Análisis de resultados: El ensayo granulométrico para el agregado reciclado proveniente de los escombros del laboratorio de Ing. civil determinó que sí es apto para la elaboración del hormigón pues la curva granulométrica resultante está dentro de los rangos establecidos la norma ASTM y posee tamaño nominal máximo de 1' y está dentro del rango de ¾' y 1 ½". El tamaño del agregado depende de la trituradora.

- Densidad aparente suelta del agregado grueso y fino.

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL				
EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO A FLEXIÓN DE VIGAS DE HORMIGÓN SIMPLE, PREPARADO A PARTIR DE MATERIALES RECICLADOS				
Origen:	MINA KUMUCHI			
Norma: NTE INEN 857 - ASTM C 127			Fecha:	12-abr
Ensayado por:	Joseph Henry Sánchez Freire			
Masa recipiente (kg):	9.83	Volúmen recipiente (dm³):	21.05	
DENSIDAD APARENTE SUELTA DEL AGREGADO GRUESO Y FINO				
Agregado	Agregado + recipiente (kg)	Agregado (kg)	Peso unitario (kg/dm ³)	Peso unitario promedio kg/dm ³
GRUESO	38.15	28.32	1.35	1.350
	38.35	28.52	1.35	
FINO	41.1	31.27	1.49	1.494
	41.45	31.62	1.50	

Tabla 18. Densidad aparente suelta del agregado grueso y fino.

Fuente: Joseph Henry Sánchez Freire

Análisis de resultados: El ensayo de la densidad aparente suelta del agregado grueso y fino dió como resultado un peso unitario promedio de 1.35 kg/dm³ y 1.49 kg/dm³ respectivamente.

- Densidad aparente compactada del agregado grueso y fino.

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL 				
EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO A FLEXIÓN DE VIGAS DE HORMIGÓN SIMPLE, PREPARADO A PARTIR DE MATERIALES				
Origen:	MINA KUMUCHI			
Norma: NTE INEN 857 - ASTM C 127			Fecha:	12-abr
Ensayado por:	Joseph Henry Sánchez Freire			
Masa recipiente (kg):	9.83	Volúmen recipiente (dm³):	21.05	
DENSIDAD APARENTE COMPACTADA DEL AGREGADO GRUESO Y FINO				
Agregado	Agregado + recipiente (kg)	Agregado (kg)	Peso unitario (kg/dm ³)	Peso unitario promedio kg/dm ³
GRUESO	41.45	31.62	1.50	1.506
	41.6	31.77	1.51	
FINO	43.25	33.42	1.59	1.601
	43.8	33.97	1.61	

Tabla 19. Densidad aparente suelta del agregado grueso y fino.

Fuente: Joseph Henry Sánchez Freire

Análisis de resultados: El ensayo de la densidad aparente compactada del agregado grueso y fino dió como resultado un peso unitario promedio de 1.50 kg/dm³ y 1.60 kg/dm³ respectivamente.

➤ Densidad aparente compactada combinada.

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO		FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA		CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL				
								
EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO A FLEXIÓN DE VIGAS DE HORMIGÓN SIMPLE, PREPARADO A PARTIR DE MATERIALES RECICLADOS								
Origen:			MINA KUMUCHI					
Norma: NTE INEN 858 - ASTM C 127		Fecha:		13-abr				
Ensayado por:			Joseph Henry Sánchez Freire					
Masa recipiente (kg):		9.83		Volúmen recipiente (dm³): 21.05				
DENSIDAD APARENTE COMPACTADA								
% MEZCLA		CANTIDAD (KG)		FINO AÑADIDO (KG)	AGREGADO + RECIPIENTE (KG)	AGREGADO (KG)	PESO UNITARIO (KG/DM3)	PESO UNITARIO PROMEDIO
GRUESO	FINO	GRUESO	FINO	FINO	AGREGADO FINO + GRUESO			
100	0	40	0	0	39.45	29.62	1.41	1.41
					39.47	29.64	1.41	
90	10	40	4.44	4.44	42.15	32.32	1.54	1.54
					42.31	32.48	1.54	
80	20	40	10	5.56	44.22	34.39	1.63	1.65
					44.89	35.06	1.67	
70	30	40	17.14	7.14	47.28	37.45	1.78	1.78
					47.11	37.28	1.77	
60	40	40	26.67	9.53	48.84	39.01	1.85	1.87
					49.37	39.54	1.88	
50	50	40	40	13.33	49.44	39.61	1.88	1.88
					49.33	39.50	1.88	
40	60	40	60	20	48.78	38.95	1.85	1.86
					48.99	39.16	1.86	

Porcentaje máximo de agregado fino	55	%
Porcentaje máximo de agregado grueso	45	%
Porcentaje óptimo de agregado fino	51	%
Porcentaje óptimo de agregado grueso	49	%
Peso unitario máximo	1.88	kg/dm3
Peso unitario óptimo	1.87	kg/dm3

DENSIDAD ÓPTIMA

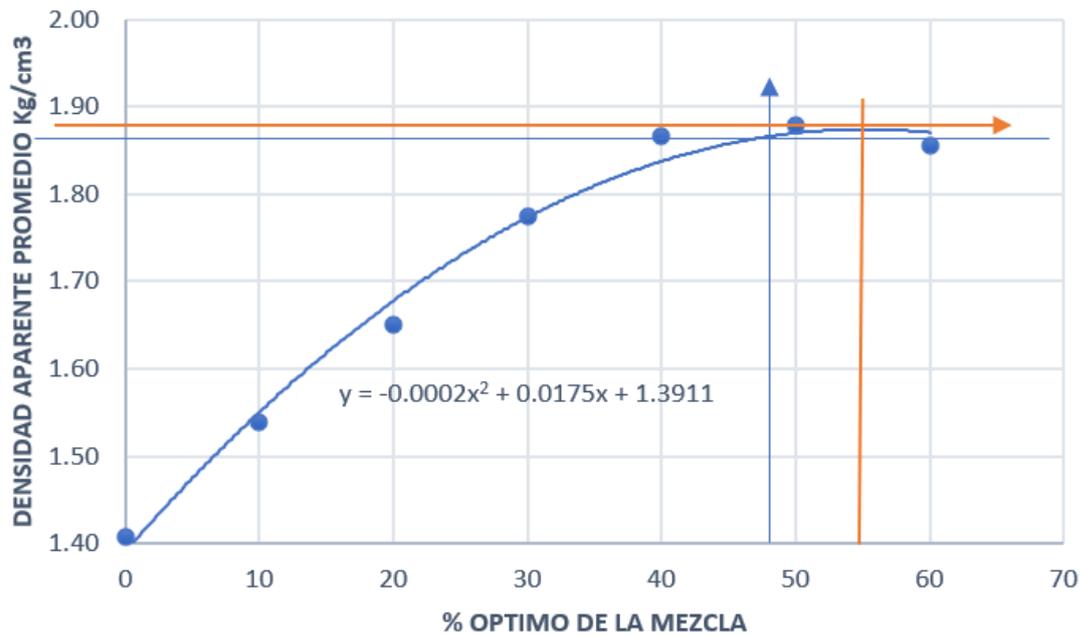


Tabla 20. Densidad aparente compactada combinada.

Fuente: Joseph Henry Sánchez Freire

Análisis de resultados: El ensayo de la densidad aparente compactada del agregado se determinó que el porcentaje óptimo del agregado fino es del 51% mientras que para el agregado grueso es del %. El peso unitario máximo y óptimo es determinado mediante la gráfica de densidad aparente compactada vs porcentaje óptimo de la mezcla con valores 1.88 kg/dm³ y 1.87 kg/dm³ respectivamente.

- Densidad real del agregado fino (arena)

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL				
EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO A FLEXIÓN DE VIGAS DE HORMIGÓN SIMPLE, PREPARADO A PARTIR DE MATERIALES RECICLADOS				
Origen:	MINA KUMUCHI			
Norma:	NTE INEN 1573	Fecha:	14-abr	
Ensayado por:	Joseph Henry Sánchez Freire			
DENSIDAD REAL Y CAPACIDAD DE ABSORCIÓN DEL AGREGADO FINO				
DATO	DESIGNACIÓN	UNIDAD	VALOR	
M1	Masa del picnómetro	gr	148.800	
M2	Masa del picnómetro + muestra SSS	gr	247.500	
M3	Masa del picnómetro + muestra SSS + agua	gr	695.500	
M4= M3 - M2	Masa agua añadida	gr	448.000	
M5	Masa del picnómetro + 500 cc de agua	gr	635.400	
M6= M5 - M1	Masa de 500cc de agua	gr	486.600	
DA= M6/500 cm ³	Densidad del agua	gr/cm ³	1.000	
M7= M6 - M4	Masa del agua desalojada por la muestra	gr	38.600	
Msss= M2 - M1	Masa del agregado	gr	98.700	
Vsss= M7 / DA	Volúmen del agua desalojada	cm ³	38.600	
DRA= Msss/Vsss	Densidad real de la arena	gr/cm ³	2.557	
CÁLCULO DE LA CAPACIDAD DE ABSORCIÓN				
M7	Masa del recipiente	gr	23.200	23.700
M8	Masa del recipiente + muestra SSS	gr	130.500	140.550
M9 = M8 - M7	Masa de la muestra SSS	gr	107.300	116.850
M10	Masa del recipiente + muestra seca	gr	129.750	140.100
M11 = M10 - M7	Masa de la muestra seca	gr	106.550	116.400
CA = (M9 - M11)/ M11*100	Capacidad de absorción	%	0.704	0.387
P2= (CA1+CA2)/2	Capacidad de absorción promedio	%	0.545	

Tabla 21. Densidad real del agregado fino.

Fuente: Joseph Henry Sánchez Freire

Análisis de resultados: El ensayo de la densidad real del agregado fino de la mina Kumuchi se determinó que su densidad real es de 2.55 g/cm³ mientras que su capacidad de absorción es de 0.55% ubicándose dentro para el agregado fino de 0.2 y 2%.

- Densidad real y capacidad de absorción del agregado fino grueso

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL				
EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO A FLEXIÓN DE VIGAS DE HORMIGÓN SIMPLE, PREPARADO A PARTIR DE MATERIALES RECICLADOS				
Origen:	MINA KUMUCHI			
Norma: NTE INEN 1573	Fecha:	18-abr		
Ensayado por:	Joseph Henry Sánchez Freire			
DENSIDAD REAL Y CAPACIDAD DE ABSORCIÓN DEL AGREGADO GRUESO				
DATO	DESIGNACIÓN	UNIDAD	VALOR	
M1	Masa de la canastilla en el aire	gr	1170.000	
M2	Masa de la canastilla en el agua	gr	1000.000	
M3	Masa de la canastilla + muestra SSS en el aire	gr	2550.000	
M4	Masa de la canastilla + muestra SSS en el agua	gr	1832.000	
DA	Densidad real del agua	gr/cm ³	1.000	
M5= M3 - M1	Masa de la muestra SSS en el aire	gr	1380.000	
M6= M4 - M2	Masa de la muestra SSS en el agua	gr	832.000	
VR= (M5-M6) / DA	Volúmen real de la muestra	cm ³	548.000	
DR = M5/VR	Densidad del ripio	gr/cm ³	2.518	
CÁLCULO DE LA CAPACIDAD DE ABSORCIÓN				
M7	Masa del recipiente	gr	40.000	30.750
M8	Masa del recipiente + muestra SSS	gr	150.150	144.200
M9 = M8 - M7	Masa de la muestra SSS	gr	110.150	113.450
M10	Masa del recipiente + muestra seca	gr	147.210	142.010
M11 = M10 - M7	Masa de la muestra seca	gr	107.210	111.260
CA = (M9 - M11) / M11*100	Capacidad de absorción	%	2.742	1.968
P2= (CA1+CA2)/2	Capacidad de absorción promedio	%	2.355	

Tabla 22. Densidad real del agregado fino.

Fuente: Joseph Henry Sánchez Freire

Análisis de resultados: El ensayo de la densidad real del agregado grueso de la mina Kumuchi se determinó que su densidad real es de 2.51 g/cm³ mientras que su capacidad de absorción es de 2.35% ubicándose dentro para el agregado fino de 0.2 y 4%.

➤ Contenido de humedad

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO		FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA		CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL		
EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO A FLEXIÓN DE VIGAS DE HORMIGÓN SIMPLE, PREPARADO A PARTIR DE MATERIALES RECICLADOS						
Origen:			MINA KUMUCHI			
Norma: NTE INEN 862 - ASTM C566			Fecha:		19-abr	
Ensayado por:			Joseph Henry Sánchez Freire			
CALCULO DEL CONTENIDO DE HUMEDAD DE LA GRAVA Y ARENA						
DATOS	DESIGNACIÓN	UNIDAD	GRAVA		ARENA	
M1	Masa del recipiente	gr	25.30	25.80	24.10	24.80
M2	Masa del recipiente + muestra húmeda	gr	135.20	143.10	136.30	129.61
M3	Masa del recipiente+ muestra seca	gr	132.60	140.90	135.50	129.34
M4=M2-M3	Masa del agua	gr	2.60	2.20	0.80	0.27
M5=M3-M1	Masa de la muestra seca o del sólido	gr	107.30	115.10	111.40	104.54
C.H.=(M4/M5)*100	Contenido de Humedad	%	2.42	1.91	0.72	0.26
C.H.	Contenido de Humedad Promedio	%	2.17		0.49	

Tabla 23. Contenido de humedad.

Fuente: Joseph Henry Sánchez Freire

Análisis de resultados: Mediante el ensayo del contenido de humedad para el agregado fino y grueso se obtuvo un valor de 0.49% y 2.17% de humedad respectivamente.

➤ Densidad real del cemento.

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO		FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA		CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL	
EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO A FLEXIÓN DE VIGAS DE HORMIGÓN SIMPLE, PREPARADO A PARTIR DE MATERIALES RECICLADOS					
Origen:			MINA KUMUCHI		
Norma: NTE INEN 1573			Fecha:		20-abr
Ensayado por:			Joseph Henry Sánchez Freire		
DENSIDAD REAL DEL CEMENTO					
DATOS	DESIGNACIÓN	UNIDAD	VALOR		
M1	Masa del picnómetro	gr	152.680	152.690	
M2	Masa del picnómetro + muestra	gr	253.700	253.800	
M3	Masa del picnómetro + muestra + gasolina	gr	594.850	594.650	
M4=M3-M2	Masa gasolina añadida	gr	341.150	340.850	
M5	Masa del picnómetro + 500cc de gasolina	gr	520.480	520.740	
M6=M5-M1	Masa de 500cc de gasolina	gr	367.800	368.050	
Vg=M6/500cm	Densidad de la gasolina	gr/cm3	0.736	0.736	
M7=M6-M4	Masa del gasolina desalojada por la muestra	gr	26.650	27.200	
Mc=M2-M1	Masa del cemento	gr	101.020	101.110	
Vg=M7/DG	Volumen de la gasolina desalojada	cm3	36.229	36.952	
DRC=Mc/Vg	Densidad real del cemento	gr/cm3	2.788	2.736	
(DRC1+DRC2)/2	Densidad real promedio	gr/cm3	2.762		

Tabla 24. Densidad real del cemento.

Fuente: Joseph Henry Sánchez Freire

Análisis de resultados: Mediante el ensayo de la densidad real para el cemento de tipo uso general GU Holcim se determinó una densidad de 2.76 g/cm³.

3.1.2 Método de las densidades optimas

En la tabla 24 se presenta de manera resumida los resultados de los ensayos realizados los cuales han permitido obtener una dosificación utilizando el método de las densidades optimas o de la Universidad Central del Ecuador.

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL 					
EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO A FLEXIÓN DE VIGAS DE HORMIGÓN SIMPLE, PREPARADO A PARTIR DE MATERIALES RECICLADOS					
Origen:	MINA KUMUCHI		Fecha:	21-abr	
Ensayado por:	Joseph Henry Sánchez Freire				
DOSIFICACIÓN DEL HORMIGÓN MÉTODO DE LA DENSIDAD ÓPTIMA					
W/C :	0.56		Datos de tablas		
DATOS DE ENSAYO			Cantidad de pasta		
f'c	240	kg/cm ²	CÁLCULOS		
Asentamiento	6 a 9	cm	DRM	2.54	gr/cm ³
DRC	2.762	gr/cm ³	POV	26.32	%
DRA	2.56	gr/cm ³	CP	304.26	dm ³
DRR	2.518	gr/cm ³	W	184.80	kg
POA	51	%	C	329.99	kg
POR	49	%	A	907.29	kg
DOM	1.87	gr/cm ³	R	858.50	kg

Tabla 25. Resumen ensayos para la dosificación fc 240 kg/cm².

Fuente: Joseph Henry Sánchez Freire

DOSIFICACION AL PESO			
MATERIAL	CANTIDAD EN KG POR M3 DE CONCRETO	DOSIFICACION AL PESO	CANTIDAD EN (KG) POR SACO DE 50 KG
W	184.80	0.56	28.00
C	329.99	1	50.00
A	907.29	2.75	137.47
R	858.50	2.60	130.08
TOTAL	2280.59	kg/m ³	

Tabla 26. Dosificación al peso fc 240 kg/cm².

Fuente: Joseph Henry Sánchez Freire

➤ Corrección por humedad

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL					
EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO A FLEXIÓN DE VIGAS DE HORMIGÓN SIMPLE, PREPARADO A PARTIR DE MATERIALES RECICLADOS							
Origen:	MINA KUMUCHI			Fecha:	25-abr		
Ensayado por:	Joseph Henry Sánchez Freire						
DOSIFICACIÓN DEL HORMIGÓN MÉTODO DE LA DENSIDAD ÓPTIMA							
DATOS							
Alto	0.1	m	N probetas	1	u		
Ancho	0.1	m	Volumen requerido	0.0035	m ³		
Largo	0.35	m					
DOSIFICACIÓN							
MATERIAL	CANTIDAD EN KG POR M3 DE CONCRETO		DOSIFICACION AL PESO		CANTIDAD NECESARIA		
W	184.80		0.56		0.65		
C	329.99		1		1.15		
A	907.29		2.75		3.18		
R	858.50		2.60		3.00		
CORRECCIÓN DE LA HUMEDAD							
Material	C.A	C.H	CORRECCION		DOSIFICACIÓN AL PESO	CANTIDAD	
	%	%	%	KG			
W (KG)				0.01	0.56	0.65	
C (KG)					1.00	1.15	
A (KG)	0.55	0.49	0.06	0.00	2.75	3.17	
R (KG)	2.36	2.17	0.19	0.01	2.60	3.00	

Tabla 27. Corrección de humedad.

Fuente: Joseph Henry Sánchez Freire

Análisis de resultados: Con los resultados obtenidos de la capacidad de absorción y el contenido de humedad tomado el día anterior de la fabricación del hormigón se realizó la corrección por humedad y se realizaron las correcciones a las mezclas de prueba y obteniendo valores finales de asentamiento para la dosificación definitiva.

3.1.3 Densidad del hormigón en estado fresco

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL							
EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO A FLEXIÓN DE VIGAS DE HORMIGÓN SIMPLE, PREPARADO A PARTIR DE MATERIALES RECICLADOS							
Ensayado por:		Joseph Henry Sánchez Freire			Volumen (m3): 0.0035		
Densidades de las vigas							
Árido reciclado	Días	Resistencia:				240 Kg/cm ²	
	VF_0	VF_10	VF_15	VF_30	VF_60	VF_100	
	0%	10%	15%	30%	60%	100%	
Pesos (Kg)	7.78	7.72	7.735	7.61	7.53	7.425	
	7.76	7.735	7.69	7.59	7.48	7.396	
	7.754	7.7	7.71	7.65	7.51	7.358	
Promedio	7.76	7.72	7.71	7.62	7.51	7.39	
Densidad Kg/m³	2218.48	2205.24	2203.33	2176.19	2144.76	2112.29	

Tabla 28. Densidad del hormigón en estado fresco a los 7 días.

Fuente: Joseph Henry Sánchez Freire

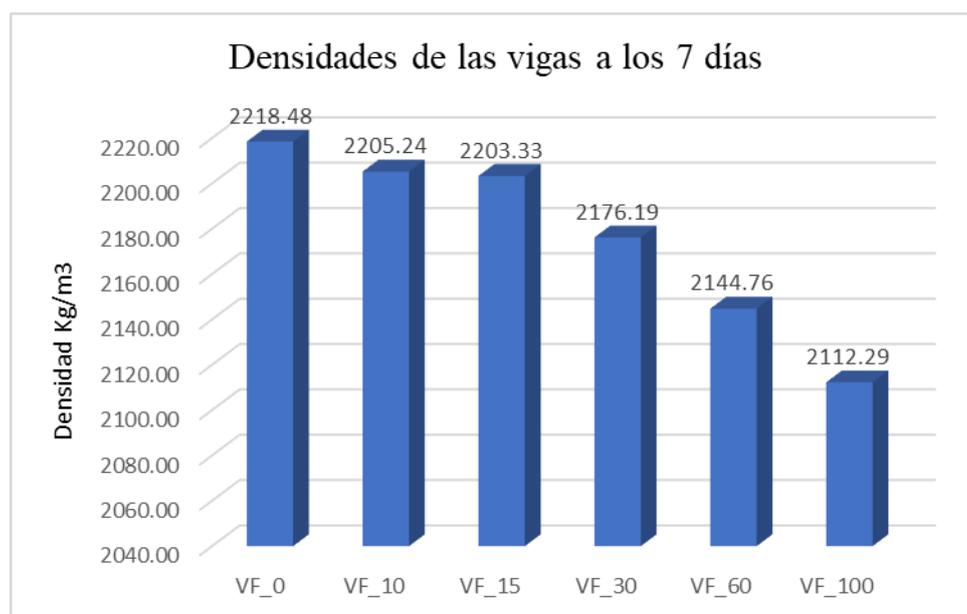


Figura 10. Densidad del hormigón en estado fresco a los 7 días.

Fuente: Joseph Henry Sánchez Freire

Análisis de resultados: En la tabla 27 se describen las densidades del hormigón en estado fresco a los 7 días de edad obteniendo los siguientes resultados. Para las vigas sin hormigón reciclado es de 2218.48 Kg/m³, para las vigas con el 10% de hormigón reciclado la densidad es 2205.24 Kg/m³, para el 15% de agregado reciclado es de 2203.33

Kg/cm³, para el 30% de agregado reciclado es de 2176.19 Kg/cm³, para el 60% de agregado reciclado es de 2144.76 Kg/cm³, para el 100% de agregado reciclado es de 2112.29 Kg/cm³.

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL 						
EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO A FLEXIÓN DE VIGAS DE HORMIGÓN SIMPLE, PREPARADO A PARTIR DE MATERIALES RECICLADOS						
Ensayado por:		Joseph Henry Sánchez Freire			Volumen (m ³): 0.0035	
Densidades de las vigas						
Árido reciclado	Días	28		Resistencia:		240 Kg/cm ²
	VF_0	VF_10	VF_15	VF_30	VF_60	VF_100
	0%	10%	15%	30%	60%	100%
Pesos (Kg)	7.789	7.754	7.824	7.577	7.473	7.386
	7.757	7.62	7.516	7.621	7.532	7.467
	7.782	7.68	7.703	7.691	7.508	7.518
Promedio	7.78	7.68	7.68	7.63	7.50	7.46
Densidad Kg/m ³	2221.71	2195.62	2194.57	2179.90	2144.10	2130.57

Tabla 29. Densidad del hormigón en estado fresco a los 28 días.

Fuente: Joseph Henry Sánchez Freire

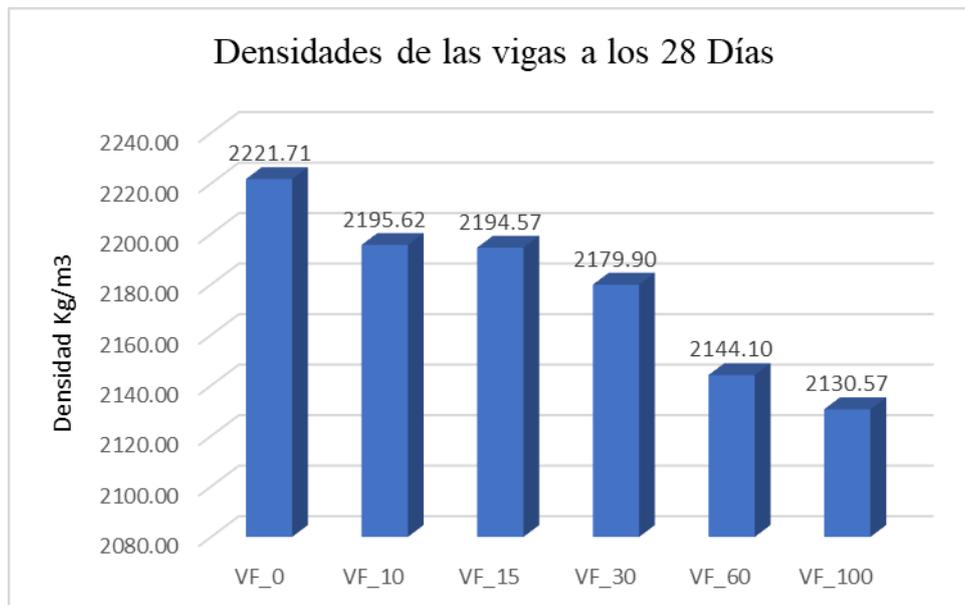


Figura 11. Densidad del hormigón en estado fresco a los 28 días.

Fuente: Joseph Henry Sánchez Freire

Análisis de resultados: En la tabla 28 se describen las densidades del hormigón en estado fresco a los 28 días de edad obteniendo los siguientes resultados. Para las vigas sin hormigón reciclado es de 2221.71 Kg/m³, para las vigas con el 10% de hormigón

reciclado la densidad es 2195.62 Kg/m³, para el 15% de agregado reciclado es de 2194.57 Kg/cm³, para el 30% de agregado reciclado es de 2179.90 Kg/cm³, para el 60% de agregado reciclado es de 2144.10 Kg/cm³, para el 100% de agregado reciclado es de 2130.57 Kg/cm³.

➤ Resumen de las densidades del hormigón por agregado reciclado

HORMIGÓN BASE	HORMIGÓN RECICLADO				
VF_0	VF_10	VF_15	VF_30	VF_60	VF_100
Densidad Kg/m³	Densidad Kg/m³	Densidad Kg/m³	Densidad Kg/m³	Densidad Kg/m³	Densidad Kg/m³
2218.48	2205.24	2203.33	2176.19	2144.76	2112.29
100.00%	99.40%	99.32%	98.09%	96.68%	95.21%
VARIACIÓN RESPECTO AL HORMIGÓN BASE					
0.00%	0.60%	0.68%	1.91%	3.32%	4.79%

Tabla 30. Resumen de las densidades del hormigón a los 7 días.

Fuente: Joseph Henry Sánchez Freire

Análisis de resultados: En la tabla 29 se muestra una variación de las densidades del hormigón siendo la densidad del hormigón base la mayor y en medida que se aumenta el reemplazo la densidad va disminuyendo, la variación en relación con el porcentaje del 10% de reciclado es 0.60%, en 15% de reciclado es 0.68%, en 30% de reciclado es 1.91%, en 60% de reciclado es 3.32% y en 100% de reciclado es 4.79%.

HORMIGÓN BASE	HORMIGÓN RECICLADO				
VF_0	VF_10	VF_15	VF_30	VF_60	VF_100
Densidad Kg/m³	Densidad Kg/m³	Densidad Kg/m³	Densidad Kg/m³	Densidad Kg/m³	Densidad Kg/m³
2221.71	2195.62	2194.57	2179.90	2144.10	2130.57
100.00%	98.83%	98.78%	98.12%	96.51%	95.90%
VARIACIÓN RESPECTO AL HORMIGÓN BASE					
0.00%	1.17%	1.22%	1.88%	3.49%	4.10%

Tabla 31. Resumen de las densidades del hormigón a los 28 días.

Fuente: Joseph Henry Sánchez Freire

Análisis de resultados: En la tabla 30 se muestra una variación de las densidades del hormigón siendo la densidad del hormigón base la mayor y en medida que se aumenta el reemplazo la densidad va disminuyendo, la variación en relación con el porcentaje del 10% de reciclado es 1.17%, en 15% de reciclado es 1.22%, en 30% de reciclado es 1.88%, en 60% de reciclado es 3.49% y en 100% de reciclado es 4.10%.

3.1.4 Resistencia a flexión.

- Ensayo a flexión a los 7 días.

Árido reciclado		Días:	7		Resistencia:		240 Kg/cm ²	
		VF_0	VF_10	VF_15	VF_30	VF_60	VF_100	
		0%	10%	15%	30%	60%	100%	
CARGA APLICADA (KN)		12.31	12.21	12.00	13.46	12.64	13.65	
		13.06	11.57	13.06	13.86	11.66	13.19	
		12.90	11.83	12.45	13.99	11.06	13.53	
Promedio		12.76	11.87	12.51	13.77	11.79	13.46	
MÓDULO ROTURA (Mpa)		3.692	3.664	3.601	4.037	3.793	4.096	
		3.918	3.471	3.919	4.159	3.498	3.958	
		3.870	3.550	3.735	4.196	3.318	4.059	
Promedio		3.83	3.56	3.75	4.13	3.54	4.04	

Tabla 32. Módulo de rotura del hormigón a los 7 días.

Fuente: Joseph Henry Sánchez Freire

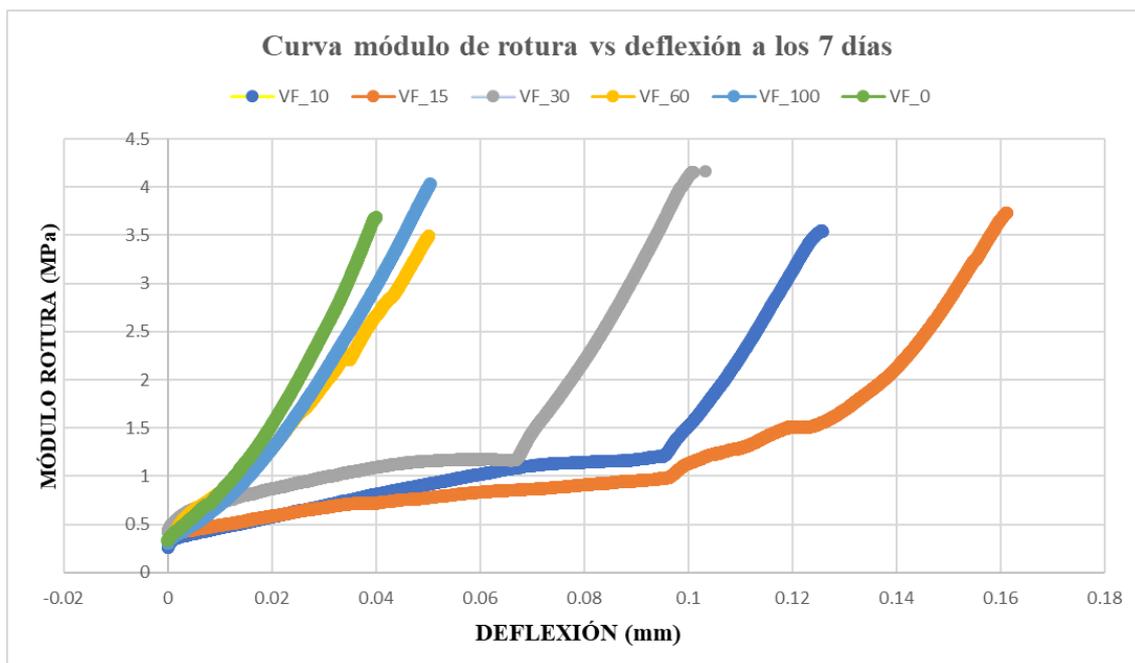


Figura 12. Curva módulo de rotura vs deflexión a los 7 días.
Fuente: Joseph Henry Sánchez Freire

Análisis de resultados: En la tabla 31 se muestra una variación de los módulos de rotura del hormigón siendo el esfuerzo del hormigón base un valor intermedio en comparación a las diferentes dosificaciones del hormigón reciclado, el MR del 10% de reciclado es 3.56 MPa, en 15% de reciclado es 3.75 MPa, en 30% de reciclado es 4.13 MPa, en 60% de reciclado es 3.54 MPa y en 100% de reciclado es 4.04 MPa.

Los MR de las vigas VF_30 y VF_100 soportan unas mayores cargas a flexión en comparación al hormigón base.

HORMIGÓN BASE	HORMIGÓN RECICLADO				
VF_0	VF_10	VF_15	VF_30	VF_60	VF_100
Módulo rotura MPa	Módulo rotura MPa	Módulo rotura MPa	Módulo rotura MPa	Módulo rotura MPa	Módulo rotura MPa
3.83	3.56	3.75	4.13	3.54	4.04
100.00%	93.08%	98.04%	107.94%	92.41%	105.51%
VARIACIÓN RESPECTO AL HORMIGÓN BASE					
0.00%	-6.92%	-1.96%	7.94%	-7.59%	5.51%

Tabla 33. Resumen del Módulo de rotura del hormigón a los 7 días.
Fuente: Joseph Henry Sánchez Freire

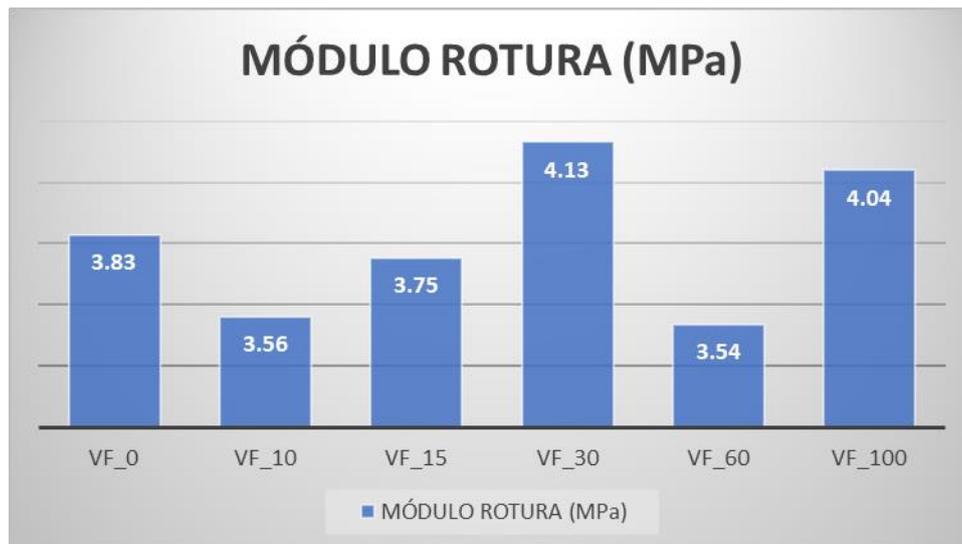


Figura 13. Resumen del Módulo de rotura del hormigón a los 7 días.

Fuente: Joseph Henry Sánchez Freire

Análisis de resultados: En la tabla 32 se muestra una variación en porcentaje de los módulos de rotura del hormigón respecto al hormigón base, el MR del 10% de reciclado es -6.92 %, en 15% de reciclado es -1.96%, en 30% de reciclado es 7.94%, en 60% de reciclado es -7.59% y en 100% de reciclado es 5.51%.

Los MR de las vigas VF_30 y VF_100 soportan unas mayores cargas a flexión en comparación al hormigón base.

HORMIGÓN BASE	HORMIGÓN RECICLADO				
VF_0	VF_10	VF_15	VF_30	VF_60	VF_100
DEFLEXIÓN (mm)	DEFLEXIÓN (mm)	DEFLEXIÓN (mm)	DEFLEXIÓN (mm)	DEFLEXIÓN (mm)	DEFLEXIÓN (mm)
0.066	0.130	0.136	0.117	0.071	0.067
100.00%	196.75%	206.08%	177.07%	107.62%	102.12%
VARIACIÓN RESPECTO AL HORMIGÓN BASE					
0.00%	96.75%	106.08%	77.07%	7.62%	2.12%

Tabla 34. Resumen de las deflexiones del hormigón a los 7 días.

Fuente: Joseph Henry Sánchez Freire

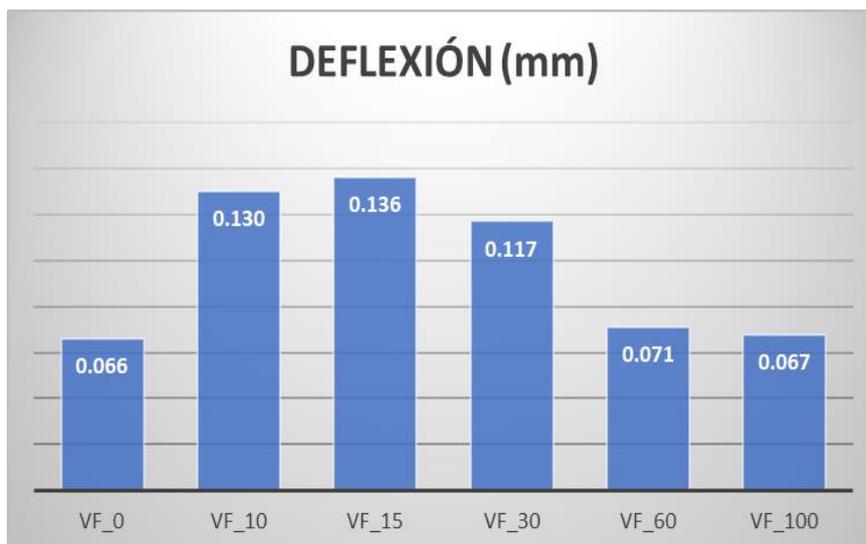


Figura 14. Resumen de las deflexiones del hormigón a los 7 días.

Fuente: Joseph Henry Sánchez Freire

Análisis de resultados: En la tabla 33 se muestra una variación en porcentaje de las deflexiones del hormigón reciclado respecto al hormigón base, la deflexión del 10% de reciclado es 96.75 %, en 15% de reciclado es 106.08%, en 30% de reciclado es 77.07%, en 60% de reciclado es 7.62% y en 100% de reciclado es 2.12%.

Las deflexiones a los 7 días de edad las vigas VF_100 presentan una deflexión similar a la de hormigón base.

- Ensayo a flexión a los 28 días.

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL					
EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO A FLEXIÓN DE VIGAS DE HORMIGÓN SIMPLE, PREPARADO A PARTIR DE MATERIALES							
Ensayado por:		Joseph Henry Sánchez Freire			Norma:		ASTM C78
PROBETAS DE PRUEBA							
Resistencia a compresión							
Mpa	P1	P2	P3	Promedio	10%	20%	
	24.3	24.6	24.85	24.58	2.46	4.92	
Rango aproximado							

Tabla 35. Resistencia a compresión de cilindros de hormigón a los 28 días.

Fuente: Joseph Henry Sánchez Freire

Análisis de resultados: En la tabla 34 se muestran los valores de la resistencia a compresión de los cilindros dando valores de 2.46 MPa y 4.92 MPa en el rango entre el 10% y 20%.

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL 						
EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO A FLEXIÓN DE VIGAS DE HORMIGÓN SIMPLE, PREPARADO A PARTIR DE MATERIALES RECICLADOS						
Ensayado por:		Joseph Henry Sánchez Freire			Norma:	ASTM C78
MÓDULO DE ROTURA						
Árido reciclado	Días:	7		Resistencia:		240 Kg/cm ²
	VF_0	VF_10	VF_15	VF_30	VF_60	VF_100
	0%	10%	15%	30%	60%	100%
CARGA APLICADA (KN)	13.75	13.80	10.10	14.88	13.62	15.81
	14.46	13.83	14.34	15.01	12.69	13.05
	14.15	12.60	12.76	14.63	12.02	14.25
Promedio	14.12	13.41	12.40	14.84	12.78	14.37
MÓDULO ROTURA (Mpa)	4.124	4.141	3.031	4.465	4.085	4.743
	4.339	4.150	4.301	4.502	3.807	3.915
	4.245	3.779	3.828	4.389	3.606	4.275
Promedio	4.24	4.02	3.72	4.45	3.83	4.31

Tabla 36. Módulo de rotura del hormigón a los 28 días.

Fuente: Joseph Henry Sánchez Freire

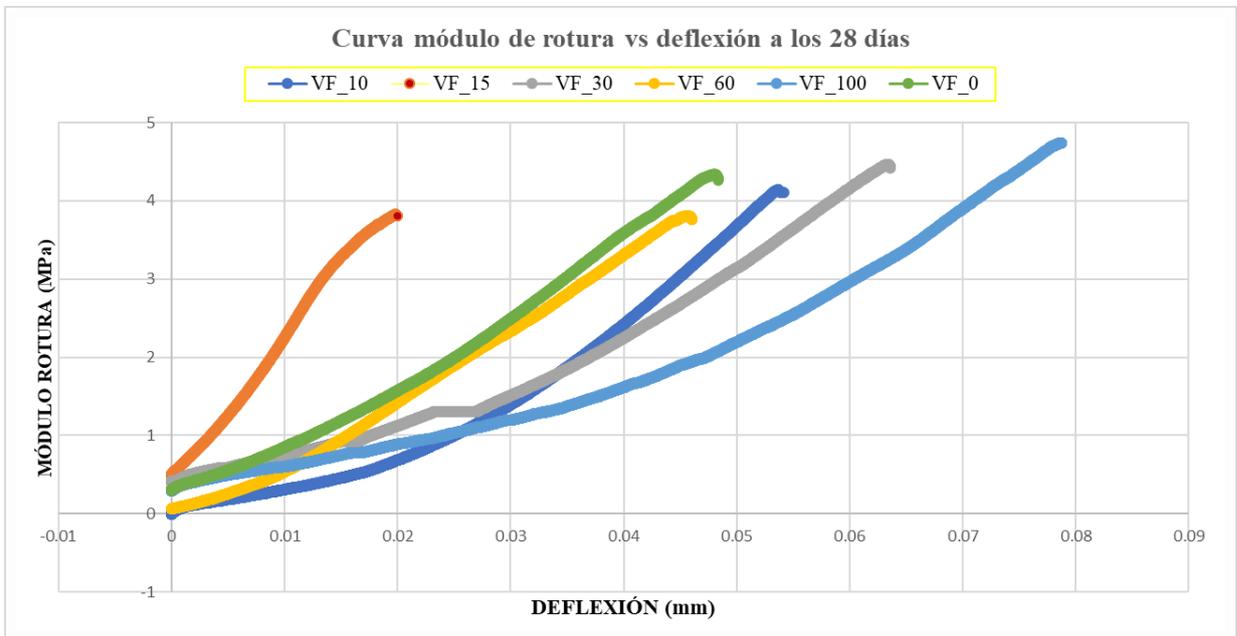


Figura 15. Curva módulo de rotura vs deflexión a los 28 días.

Fuente: Joseph Henry Sánchez Freire

Análisis de resultados: En la tabla 35 se muestra una variación de los módulos de rotura del hormigón siendo el esfuerzo del hormigón base un valor intermedio en comparación

a las diferentes dosificaciones del hormigón reciclado, el MR del 10% de reciclado es 4.02 MPa, en 15% de reciclado es 3.72 MPa, en 30% de reciclado es 4.45 MPa, en 60% de reciclado es 3.83 MPa y en 100% de reciclado es 4.31 MPa. Los módulos de rotura de todas las vigas se encuentran dentro del rango del 10% al 20% de la resistencia a compresión de las probetas.

Los MR de las vigas VF_30 y VF_100 soportan unas mayores cargas a flexión en comparación al hormigón base.

HORMIGÓN BASE	HORMIGÓN RECICLADO				
VF_0	VF_10	VF_15	VF_30	VF_60	VF_100
Módulo rotura MPa	Módulo rotura MPa	Módulo rotura MPa	Módulo rotura MPa	Módulo rotura MPa	Módulo rotura MPa
4.24	4.02	3.72	4.45	3.83	4.31
100.00%	94.97%	87.81%	105.09%	90.48%	101.77%
VARIACIÓN RESPECTO AL HORMIGÓN BASE					
0.00%	-5.03%	-12.19%	5.09%	-9.52%	1.77%

Tabla 37. Resumen del Módulo de rotura del hormigón a los 28 días.

Fuente: Joseph Henry Sánchez Freire

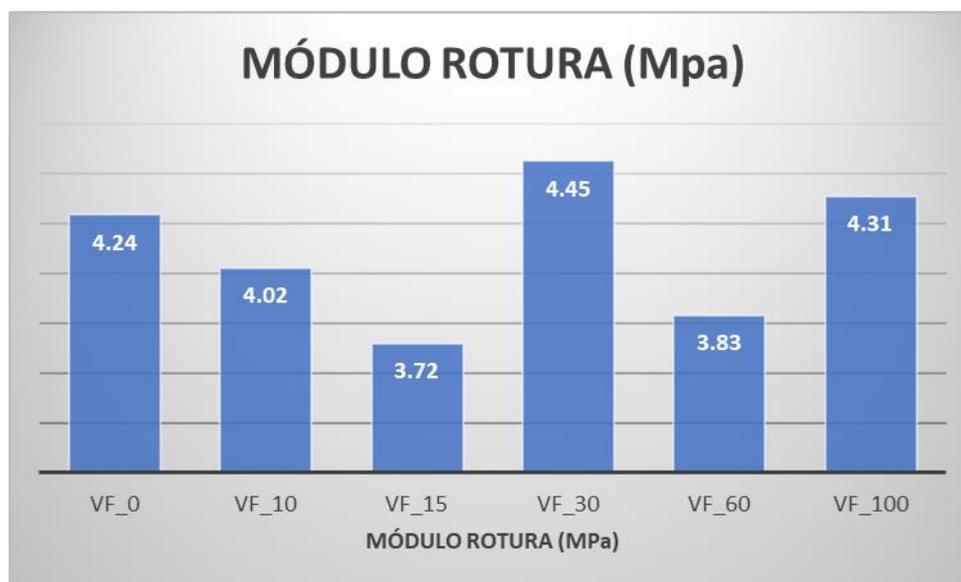


Figura 16. Resumen del módulo de rotura del hormigón a los 28 días.

Fuente: Joseph Henry Sánchez Freire

Análisis de resultados: En la tabla 36 se muestra una variación en porcentaje de los módulos de rotura del hormigón reciclado respecto al hormigón base, el MR del 10% de reciclado es -5.03 %, en 15% de reciclado es -12.19%, en 30% de reciclado es 5.09%, en 60% de reciclado es -9.52% y en 100% de reciclado es 1.77%.

Los módulos de rotura a los 28 días de edad las vigas VF_30 y VF_100 soportan mayores cargas a flexión en un 5.09% y 1.77% en comparación a las vigas de hormigón base.

HORMIGÓN BASE	HORMIGÓN RECICLADO				
VF_0	VF_10	VF_15	VF_30	VF_60	VF_100
DEFLECCIÓN (mm)	DEFLECCIÓN (mm)	DEFLECCIÓN (mm)	DEFLECCIÓN (mm)	DEFLECCIÓN (mm)	DEFLECCIÓN (mm)
0.06	0.05	0.05	0.07	0.07	0.07
100.00%	84.64%	91.84%	117.59%	126.03%	115.73%
VARIACIÓN RESPECTO AL HORMIGÓN BASE					
0.00%	-15.36%	-8.16%	17.59%	26.03%	15.73%

Tabla 38. Resumen de las deflexiones del hormigón a los 28 días.

Fuente: Joseph Henry Sánchez Freire

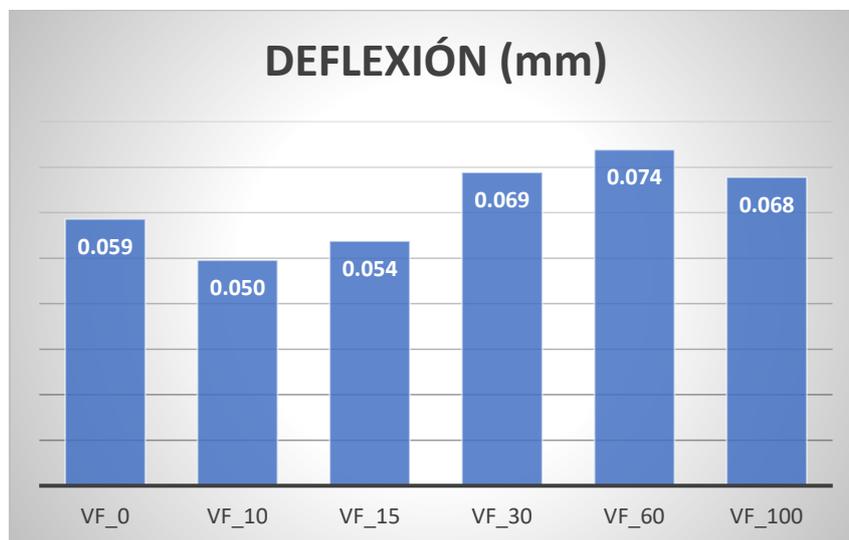


Figura 17. Resumen de las deflexiones del hormigón a los 28 días.

Fuente: Joseph Henry Sánchez Freire

Análisis de resultados: En la tabla 38 se muestra una variación en porcentaje de las deflexiones del hormigón reciclado respecto al hormigón base, la deflexión del 10% de reciclado es -15.36 %, en 15% de reciclado es -8.16%, en 30% de reciclado es 17.59%, en 60% de reciclado es 26.03% y en 100% de reciclado es 15.75%.

Las deflexiones a los 28 días de edad las vigas VF_30, VF_60 y VF_100 soportan mayores deflexiones debido a que los hormigones con mayor reemplazo de agregado reciclado tienen menor rigidez que un hormigón normal, por lo tanto, admiten mayor deformación antes de la rotura.

3.1.5. Verificación a falla



Figura 18. Tipo de falla en las vigas.
Fuente: Joseph Henry Sánchez Freire

Análisis de resultados: En la imagen se visualiza una falla a corte en el tercio medio de la viga a 1cm de las líneas de referencia.

CAPITULO IV. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 CONCLUSIONES

- Se prepararon un total de 30 vigas de hormigón con porcentajes de agregado reciclado en relación con el peso del agregado natural y 6 vigas de hormigón sin agregado reciclado para la comparación de los resultados de las propiedades, se utilizó un total de 38.69 Kg de agregados reciclados y 69.28 Kg de ripio natural.
- Se obtuvieron las propiedades mecánicas de los agregados fino y grueso que se emplearon en la elaboración de las vigas y se determinó características como granulometría, densidades sueltas y compactadas, contenidos de humedad y dosificación bajo las normativas INEN y a ASTM las cuales determinaron como agregados aptos para la elaboración de las probetas.
- Se determinó que la densidad en estado fresco del hormigón elaborado con agregado reciclado disminuye en relación con hormigones elaborados de manera tradicional los mismos que están en un rango de 2200 a 2400 Kg/m³ y siendo los hormigones con agregados reciclados más ligeros obteniendo reducciones del 1.17%, 1.22%, 1.88%, 3.49% y 4.10% para el 10%, 15%, 30%, 60% y 100% respectivamente, debido a la porosidad que sufre el agregado reciclado volviéndose más liviano que el agregado natural.
- Se obtuvieron los módulos de rotura a los que fallan todas las vigas las mismas que se encuentran dentro del rango del 10% al 20% de la resistencia a compresión de las probetas con un valor promedio de 24.58 MPa.
- De determino que los módulos de rotura a los 28 días de edad las vigas VF_30 y VF_100 soportan mayores cargas a flexión en un 5.09% y 1.77% en comparación a las vigas de hormigón base.
- Se verifico que los porcentajes del 15% y 60% presentan las menores resistencias a flexión y se puede apreciar una disminución en las mismas del 12.19% y 9.52% respectivamente con respecto al hormigón base o tradicional.
- Se concluyó que las deflexiones a los 28 días de edad las vigas VF_30, VF_60 y VF_100 soportan mayores deflexiones debido a que los hormigones con mayor reemplazo de agregado reciclado tienen menor rigidez que un hormigón normal, por lo tanto, admiten mayor deformación antes de la rotura.

4.2 RECOMENDACIONES

- Se recomienda al laboratorio de ingeniería civil contar con una máquina trituradora de agregados para de esa manera fomentar la elaboración de ensayos con agregados reciclados.
- Se recomienda cubrir el material grueso y material fino con lonas plásticas para evitar que durante la noche absorban humedad y de esa manera no varían los resultados de corrección de humedad al siguiente día al momento de elaborar las probetas
- Se recomienda utilizar el tamaño a $\frac{3}{4}$ " para el material reciclado y para el árido grueso natural y al momento de la recolección del material tres cuartos en la maquina trituradora hay que revisar que no se mezcle con agregados de otros tamaños.
- Se recomienda realizar la mezcla del hormigón en una concretera para homogeneizar de mejor manera sus elementos mientras que haciéndolo de forma manual no se llega a una mezcla muy consistente.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] F. PÉREZ OYARZÚN *et al.*, “CIMENTANDO EL CENTENARIO: EL HORMIGÓN EN TRES EDIFICIOS DE SANTIAGO DE CHILE A COMIENZOS DEL SIGLO XX,” *Atenea (Concepción)*, no. 523, pp. 39–61, 2021, doi: 10.29393/ATAT523-409FPCC40409.
- [2] C. Albeiro *et al.*, “Residuos de construcción y demolición (RCD), una perspectiva de aprovechamiento para la ciudad de barranquilla desde su modelo de gestión,” *scielo*, vol. 35, 2017, doi: 10.14482/inde.32.2.5406.
- [3] S. Muñoz, M. Bayona, and J. Yovera, “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, no. 2602–8077, Aug. 2021.
- [4] J. M. Moro, “Caracterización y durabilidad de hormigones reciclados : corrosión de armaduras,” Mar. 2016, Accessed: May 10, 2023. [Online]. Available: <https://repositoriodigital.uns.edu.ar/handle/123456789/4627>
- [5] D. De Santos, M. Belén, M. Delgado, and A. García Martínez, “Gestión de residuos en las obras de construcción y demolición Segunda edición”, Accessed: May 10, 2023. [Online]. Available: www.fundacionlaboral.org
- [6] C. EL Mundial Empresarial Para Desarrollo Sostenible, “DEDICADOS A HACER LA DIFERENCIA RECICLANDO CONCRETO,” 2009.
- [7] J. A. Ortiz, A. de la Fuente, F. Mena Sebastia, I. Segura, and A. Aguado, “Steel-fibre-reinforced self-compacting concrete with 100% recycled mixed aggregates suitable for structural applications,” *Constr Build Mater*, vol. 156, pp. 230–241, Dec. 2017, doi: 10.1016/J.CONBUILDMAT.2017.08.188.
- [8] A. Rea, “GESTIÓN DE RESIDUOS EN LA CONSTRUCCIÓN: PLAN DE GESTIÓN DE RESIDUOS GENERADOS EN CONSTRUCCIONES DE VIVIENDA MULTIFAMILIAR EN EL ECUADOR,” Universidad de Cuenca, CUENCA, 2017.

- [9] Holcim, “Geocycle, por un futuro sin residuos.” 2023. <https://www.holcim.com.ec/comunicandonos/ultima-edicion/latest-release/article/geocycle-por-un-futuro-sin-residuos> (accessed Jun. 08, 2023).
- [10] F. Muñoz, P. Ñacata, and E. Guerra, “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 Blo,” *INGENIO*, vol. 2, no. 1, pp. 5–10, Nov. 2019, doi: 10.29166/INGENIO.V2I1.1630.
- [11] P. A. Gutiérrez and M. S. de Juan, “Hormigón reciclado estructural: utilización de árido reciclado procedente de escombros de hormigón,” *Revista Digital del Cedex*, no. 179, pp. 55–55, Mar. 2015, Accessed: Jun. 08, 2023. [Online]. Available: <http://193.145.71.12/index.php/ingenieria-civil/article/view/530>
- [12] H. Xargay *et al.*, “Uso de materiales reciclados en compuestos cementicios,” *Tecnura*, vol. 23, no. 60, pp. 38–51, Apr. 2019, doi: 10.14483/22487638.14697.
- [13] D. Gámez, H. Saldaña, J. Gómez, and R. Corral, “Estudio de factibilidad y caracterización de áridos para hormigón estructural,” *Ingeniería y Desarrollo Fundación Universidad del Norte*, vol. 35, Jun. 2017.
- [14] Zega, Taus, and Di Maio, “Comportamiento físico-mecánico de hormigones reciclados elaborados con canto rodado,” *Scielo*.
- [15] A. Sangay and A. Régulo, “Efecto de los agregados de concreto reciclado en la resistencia a la compresión sobre el concreto $F_c=210 \text{ kg/cm}^2$,” 2014, Accessed: Jul. 04, 2023. [Online]. Available: <http://hdl.handle.net/20.500.14074/493>
- [16] C. J. Zega, “Propiedades Físico-Mecánicas y Durables de Hormigones Reciclados,” 2010.
- [17] I. Mendoza and S. Chávez, “Revista de Ingeniería Civil Residuos de construcción y demolición como agregado de concreto hidráulico nuevo,” *Diciembre*, vol. 1, no. 2, pp. 9–14, 2017, Accessed: Jul. 05, 2023. [Online]. Available: www.ecorfan.org/republicofperu

- [18] A. Cabezas and R. Alejandro, “Propiedades físico – mecánicas del hormigón elaborado con áridos reciclados,” 2017, Accessed: Jul. 05, 2023. [Online]. Available: <http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/13131>
- [19] J. S. Bolaños Noboa and J. S. Bolaños Noboa, “Estudio del uso de materiales reciclados como hormigones, cerámicas y otros productos de derrocamiento o desperdicio de obra como agregados para un hormigón,” 2015, Accessed: Jul. 05, 2023. [Online]. Available: <https://repositorio.uide.edu.ec/handle/37000/2197>
- [20] W. Martinez-Molina, A. A. Torres-Acosta, G. E. I. Martínez-Peña, E. A. Guzmán, and I. N. Mendoza-Pérez, “Cement-based, materials-enhanced durability from opuntia ficus indica mucilage additions,” *ACI Mater J*, vol. 112, no. 1, pp. 165–172, Jan. 2015, doi: 10.14359/51687225.
- [21] Norma Técnica Ecuatoriana, “NTE INEN 872 INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN.”
- [22] I. Silene Minaya Gonzalez, M. Abel Ordóñez Huaman, and D. del, “UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA.”
- [23] “¿Qué es la Picnometria y para que sirve? | OneLab.” <https://www.onelab.com.ar/que-es-la-picnometria-y-para-que-sirve> (accessed Jul. 11, 2023).
- [24] Norma Técnica Ecuatoriana, “NTE INEN 2380:2011 INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN NORMA TÉCNICA ECUATORIANA Segunda revisión CEMENTO HIDRÁULICO. REQUISITOS DE DESEMPEÑO PARA CEMENTOS HIDRÁULICOS.”
- [25] L. E. Tipanluisa, A. P. Remache, C. R. Ayabaca, and S. W. Reina, “Emisiones Contaminantes de un Motor de Gasolina Funcionando a dos Cotas con Combustibles de dos Calidades,” *Información tecnológica*, vol. 28, no. 1, pp. 03–12, Feb. 2017, doi: 10.4067/S0718-07642017000100002.
- [26] Norma Técnica Ecuatoriana, “NTE INEN 1 578:2010 INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN NORMA TÉCNICA ECUATORIANA Primera revisión HORMIGÓN DE CEMENTO HIDRÁULICO. DETERMINACIÓN DEL ASENTAMIENTO.”

- [27] Norma Técnica Ecuatoriana, “NTE INEN 1855-1 INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN.”
- [28] NORMA TÉCNICA ECUATORIANA, “NTE INEN 2528:2010 INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN NORMA TÉCNICA ECUATORIANA Camaras de curado.”
- [29] NORMA TÉCNICA ECUATORIANA, “NTE INEN 1108 INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN Agua potable.” [Online]. Available: www.pdfactory.com
- [30] “La investigación documental para la comprensión ontológica del objeto de estudio”.
- [31] NORMA TÉCNICA ECUATORIANA, “INEN 858 ÁRIDOS. DETERMINACIÓN DE LA MASA UNITARIA (PESOVOLUMÉTRICO) Y EL PORCENTAJE DE VACÍOS,” *NORMA TÉCNICA ECUATORIANA*.
- [32] NORMA TÉCNICA ECUATORIANA, “NTN INEN 857 INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN.”
- [33] A. Torres, “UNIVERSIDAD DEL AZUAY FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL Y GERENCIA DE CONSTRUCCIONES,” Cuenca.
- [34] “Norma INEN 156 | PDF | Densidad | Cemento.” <https://es.scribd.com/document/250993495/Norma-INEN-156> (accessed Jul. 16, 2023).
- [35] NORMA TÉCNICA ECUATORIANA, “NTE INEN 862 INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN NORMA TÉCNICA ECUATORIANA ÁRIDOS PARA HORMIGÓN. DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO TOTAL DE HUMEDAD.”
- [36] V. Ulloa, “MÓDULO ESTÁTICO DE ELASTICIDAD DEL HORMIGÓN EN BASE A SU RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN $f'_c = 21$ MPa, FABRICADO CON MATERIALES DE LA MINA VILLACRÉS, UBICADA EN EL SECTOR

DE LA PENÍNSULA, CANTÓN AMBATO EN LA PROVINCIA DE TUNGURAHUA Y CEMENTO HOLCIM,” Quito.

[37] L. Mayorga, “RESISTENCIA A COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN PREPARADO A PARTIR DE MATERIALES RECICLADOS”.

[38] C. Manobanda, “EL CURADO DEL HORMIGÓN”.

[39] “ASTM C 78 Método de Ensayo Estándar para Resistencia a la Flexión del Concreto (Usando Viga Simple con Carga a los Tercios del Claro).”

ANEXOS

A1. Anexos fotográficos

Fotografía 1	Fotografía 2
	
Visita técnica mina Kumochi	Cilindros de los laboratorios de ingeniería civil para ser triturados
Fotografía 3	Fotografía 4
	
Contenido de humedad de la arena	Maquina trituradora de la ciudad de Ambato, sector las Viñas

<p align="center">Fotografía 5</p>	<p align="center">Fotografía 6</p>
	
<p align="center">Cilindro para ser ensayado a compresión</p>	<p align="center">Ensayo de granulometría del agregado fino</p>
<p align="center">Fotografía 7</p>	<p align="center">Fotografía 8</p>
	
<p align="center">Contenido de humedad del agregado grueso</p>	<p align="center">Banda clasificadora de material</p>

<p align="center">Fotografía 9</p>	<p align="center">Fotografía 10</p>
	
<p>Viga VF_10 luego de ser ensayada</p>	<p>Fallas en el tercio medio de las vigas luego de ser ensayadas a flexión</p>
<p align="center">Fotografía 11</p>	<p align="center">Fotografía 12</p>
	
<p>Vigas VF_30 luego de ser ensayada</p>	<p>Ensayo a flexión de las vigas</p>

Fotografía 13



Preparación de la mezcla en concretera eléctrica

Fotografía 14



Preparación de la mezcla manualmente

Fotografía 15



Colocación del hormigón en los moldes

Fotografía 16



Hormigón colocado y enrasado en los moldes

