

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

TRABAJO EXPERIMENTAL PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL

TEMA:

EVALUACIÓN DE LA RESISTENCIA A FLEXIÓN DE VIGAS DE HORMIGÓN ARMADO PREPARADO CON AGREGADO GRUESO RECICLADO Y ADICIONANDO CATALIZADOR AGOTADO DE CRAQUEO CATALÍTICO FLUIDIZADO

AUTOR: John Anderson Álvarez Martínez

TUTOR: Ing. Carlos Patricio Navarro Peñaherrera, Mg.

AMBATO – ECUADOR

Agosto – 2024

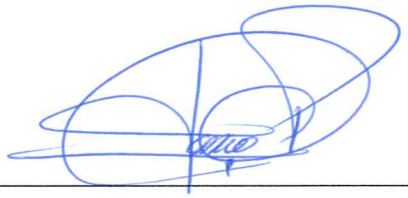
APROBACIÓN DEL TUTOR

En mi calidad de Tutor del Trabajo experimental, previo a la obtención del Título de Ingeniero Civil, con el tema **"EVALUACIÓN DE LA RESISTENCIA A FLEXIÓN DE VIGAS DE HORMIGÓN ARMADO PREPARADO CON AGREGADO GRUESO RECICLADO Y ADICIONANDO CATALIZADOR AGOTADO DE CRAQUEO CATALÍTICO FLUIDIZADO"**, elaborado por el Sr. John Anderson Álvarez Martínez, portador de la cédula de ciudadanía C.I. 1207826205, estudiante de la Carrera de Ingeniería Civil de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica.

Certifico:

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

Ambato, agosto 2024



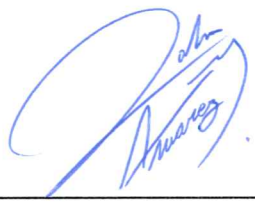
Ing. Carlos Patricio Navarro Peñaherrera, Mg

TUTOR

AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, John Anderson Álvarez Martínez, con C.I. 1207826205, declaro que todas las actividades y contenidos expuestos en el desarrollo del presente Trabajo Experimental con el tema **"EVALUACIÓN DE LA RESISTENCIA A FLEXIÓN DE VIGAS DE HORMIGÓN ARMADO PREPARADO CON AGREGADO GRUESO RECICLADO Y ADICIONANDO CATALIZADOR AGOTADO DE CRAQUEO CATALÍTICO FLUIDIZADO"** 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, agosto 2024



John Anderson Álvarez Martínez

1207826205

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, agosto 2024



John Anderson Álvarez Martínez

1207826205

AUTOR

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO

Los miembros del Tribunal de Grado aprueban el informe del Trabajo Experimental, realizado por el estudiante John Anderson Álvarez Martínez de la carrera de Ingeniería Civil bajo el tema: **"EVALUACIÓN DE LA RESISTENCIA A FLEXIÓN DE VIGAS DE HORMIGÓN ARMADO PREPARADO CON AGREGADO GRUESO RECICLADO Y ADICIONANDO CATALIZADOR AGOTADO DE CRAQUEO CATALÍTICO FLUIDIZADO"**.

Ambato, agosto 2024

Para constancia firman:

Ing. Lourdes Gabriela Peñafiel Valla, Mg.

MIEMBRO CALIFICADOR

Ing. María Fernanda Pico Núñez, Mg.

MIEMBRO CALIFICADOR

DEDICATORIA

El presente trabajo se lo dedico a mi familia que siempre me brindó el apoyo incondicional y me dieron la fuerza necesaria para alcanzar mis objetivos. De igual manera dedico este trabajo a mi segunda familia de Latacunga, quienes me supieron dar una mano a principios de la carrera y me supieron hacer sentir como en casa. Y como olvidar a todos los amigos que hice en este proceso, los mismos que me hacían olvidar el hecho de estar lejos de casa y siempre estuvieron como la mejor compañía, este trabajo también es dedicado a ellos.

AGRADECIMIENTO

Agradezco a mi mami, quien es y seguirá siendo mi pilar para seguir adelante, la cual en todo momento me demostró que nunca iba a estar solo y me brindó el amor y apoyo necesario para terminar este ciclo de mi vida. De igual manera a mi hermanita, quien siempre me brindó su amor y preocupación en todo este proceso, y quien al llegar a casa se emocionaba por verme.

Agradezco a mi papá, quien siempre será mi fortaleza, la persona a la que veo y admiro, el mismo que me transmite las fuerzas para seguir adelante, de quien obtengo ese coraje y templanza para alcanzar mis objetivos.

Agradezco a mis abuelitos, quienes pase lo que pase siempre me demostraron su amor y lo seguirán haciendo, de ellos aprendí que el amor con el tiempo no se apaga, sino todo lo contrario se hace más fuerte.

Agradezco a mi familia de Latacunga, quienes nunca dudaron en acogerme en su casa durante los primeros semestres de la carrera y siempre me brindaron esa mano de apoyo.

Agradezco al ingeniero Carlos Navarro, el mismo que fue un apoyo incondicional en todo este proceso y me brindó sus conocimientos y guías de manera desinteresada para afrontar todos los obstáculos de la universidad.

ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS

APROBACIÓN DEL TUTOR ii
AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN iii
DERECHOS DE AUTOR iv
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO v
DEDICATORIA vi
AGRADECIMIENTO vii
ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS viii
ÍNDICE DE TABLAS x
ÍNDICE DE FIGURAS xii
RESUMEN EJECUTIVO xiii
ABSTRACT xiv
I. CAPITULO I.- MARCO TEÓRICO 1
A. Antecedentes investigativos 1
B. Objetivos 6
1) Objetivo general: 6
2) Objetivos específicos: 6
II. CAPÍTULO II.- METODOLOGÍA 7
A. Materiales y equipos 7
B. Métodos 11
1) Fase I: 11
a) Recolección de información bibliográfica acerca de la fabricación de hormigones convencionales: 11
b) Recolección del agregado grueso y agregado fino para la fabricación de hormigones convencionales: 12
c) Recolección del agregado grueso y agregado fino para la fabricación de hormigones preparados con agregado grueso reciclado y adicionando catalizador agotado de craqueo catalítico fluidizado: 13
d) Ensayos de laboratorio: 15
2) Fase II: 21
a) Elaboración de vigas de hormigón armado preparadas a partir de los materiales requeridos: 21
b) Cálculo de dosificación: 23
c) Fabricación de las vigas definitivas: 27
d) Propiedades del hormigón en estado fresco: 28
e) Curado del hormigón: 29

f) Ensayo de flexión de punto medio: 30
g) Módulo de rotura: 31
3) Fase III: 32
a) Análisis de resultados 32
III. CAPÍTULO III.- RESULTADOS Y DISCUSIÓN 34
1) Fase I: 34
a) Propiedades de los agregados 34
2) Fase II: 48
a) Cálculo de la dosificación 48
b) Resistencia a la compresión de cilindros f'c = 280 kg/cm2 52
c) Armado de vigas 55
d) Resistencia la flexión 56
3) Fase III: 61
a) Comparación de resultados 61
A. Discusión 62
IV. CAPÍTULO IV. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 63
A. Conclusiones 63
B. Recomendaciones 64
V. MATERIALES DE REFERENCIA 65
BIBLIOGRAFÍA 65
ANEXOS 68

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA I MATERIALES Y EQUIPOS UTILIZADOS PARA EL ENSAYO GRANULOMÉTRICO DE LOS AGREGADOS 8
TABLA II MATERIALES Y EQUIPOS UTILIZADOS PARA EL ENSAYO DE CAPACIDAD DE ABSORCIÓN DE LOS AGREGADOS 8
TABLA III MATERIALES Y EQUIPOS UTILIZADOS PARA EL ENSAYO DE DENSIDAD APARENTE Y COMPACTADO DE LOS AGREGADOS 9
TABLA IV MATERIALES Y EQUIPOS UTILIZADOS PARA EL ENSAYO DE DENSIDAD DEL CEMENTO 9
TABLA V MATERIALES Y EQUIPOS UTILIZADOS PARA EL ENSAYO DE CONTENIDO DE HUMEDAD 9
TABLA VI MATERIALES Y EQUIPOS UTILIZADOS PARA LA ELABORACIÓN DE VIGAS 10
TABLA VII MATERIALES Y EQUIPOS UTILIZADOS PARA EL ENSAYO A FLEXIÓN DE VIGAS 10
TABLA VIII TAMAÑO NOMINAL DE LOS AGREGADOS GRUESOS Y FINOS 16
TABLA IX DIÁMETRO DE VARILLA COMERCIAL 22
TABLA X NOMENCLATURA PARA LA DOSIFICACIÓN DEL HORMIGÓN 23
TABLA XI RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN BASÁNDOSE EN LA RELACIÓN AGUA - CEMENTO 24
TABLA XII RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN BASÁNDOSE EN LA RELACIÓN W/C 24
TABLA XIII CODIFICACIÓN DE LOS CILINDROS 26
TABLA XIV CODIFICACIÓN DE LAS VIGAS DEFINITIVAS 27
TABLA XV TRABAJABILIDAD DEL HORMIGÓN 28
TABLA XVI RANGOS DE ASENTAMIENTO DEL HORMIGÓN EN ESTADO FRESCO 28
TABLA XVII RESULTADOS DEL ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DEL AGREGADO FINO 34
TABLA XVIII RESULTADOS DEL ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DEL AGREGADO GRUESO 35
TABLA XIX RESULTADOS DEL ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DEL AGREGADO GRUESO RECICLADO 37
TABLA XX RESULTADOS DE LA DENSIDAD REAL DEL AGREGADO FINO 39
TABLA XXI RESULTADOS DE LA CAPACIDAD DE ABSORCIÓN DE AGREGADO FINO 39
TABLA XXII RESULTADOS DE LA DENSIDAD REAL DEL AGREGADO GRUESO 40
TABLA XXIII RESULTADOS DE LA CAPACIDAD DE ABSORCIÓN DEL AGREGADO GRUESO 41
TABLA XXIV RESULTADOS DE LA DENSIDAD REAL DEL CEMENTO 42
TABLA XXV RESULTADOS DE LA DENSIDAD APARENTE SUELTA Y COMPACTADA DEL AGREGADO FINO 43
TABLA XXVI RESULTADOS DE LA DENSIDAD APARENTE SUELTA Y COMPACTADA DEL AGREGADO GRUESO 44
TABLA XXVII RESULTADOS DE LA DENSIDAD APARENTE SUELTA Y COMPACTADA DE LA MEZCLA 45

TABLA XXVIII RESULTADOS DEL CONTENIDO DE HUMEDAD DEL AGREGADO FINO 46
TABLA XXIX RESULTADOS DEL CONTENIDO DE HUMEDAD DEL AGREGADO GRUESO 47
TABLA XXX RESUMEN DE LOS DATOS OBTENIDOS A PARTIR DE LOS ENSAYOS 48
TABLA XXXI DOSIFICACIÓN DEL HORMIGÓN POR EL MÉTODO DE LA DENSIDAD ÓPTIMA 49
TABLA XXXII DOSIFICACIÓN PARA EL VOLUMEN NECESARIO DE LOS CILINDROS DE HORMIGÓN 50
TABLA XXXIII CORRECCIÓN DE LA DOSIFICACIÓN POR HUMEDAD 50
TABLA XXXIV RELACIÓN AGUA/CEMENTO SEGÚN SU RESISTENCIA A LOS 28 DÍAS DE EDAD 51
TABLA XXXV DOSIFICACIÓN AL PESO UTILIZANDO EL MÉTODO DE DENSIDADES ÓPTIMAS 51
TABLA XXXVI DOSIFICACIÓN BASADA EN LA CANTIDAD POR CADA SACO DE CEMENTO 51
TABLA XXXVII DOSIFICACIÓN DEFINITIVA PARA CADA VIGA 280 KG/CM2 52
TABLA XXXVIII RESISTENCIA DE LOS CILINDROS A LA COMPRESIÓN A LOS 7 DÍAS DE EDAD 52
TABLA XXXIX RESISTENCIA DE LOS CILINDROS A LA COMPRESIÓN A LOS 14 DÍAS DE EDAD 53
TABLA XL RESISTENCIA DE LOS CILINDROS A LA COMPRESIÓN A LOS 28 DÍAS DE EDAD 54
TABLA XLI DATOS Y DIMENSIONES PARA EL ARMADO DE VIGAS 55
TABLA XLII ENSAYO A FLEXIÓN DE VIGAS CONVENCIONALES 56
TABLA XLIII ENSAYO A FLEXIÓN DE VIGAS CON AGREGADO GRUESO RECICLADO Y 5% DEL CATALIZADOR AGOTADO 57
TABLA XLIV ENSAYO A FLEXIÓN DE VIGAS CON AGREGADO GRUESO RECICLADO Y 10% DEL CATALIZADOR AGOTADO 58
TABLA XLV MÓDULO DE ROTURA DE VIGAS CONVENCIONALES 59
TABLA XLVI MÓDULO DE ROTURA DE VIGAS CON AGREGADO GRUESO RECICLADO Y 5% DEL CATALIZADOR AGOTADO 60
TABLA XLVII MÓDULO DE ROTURA DE VIGAS CON AGREGADO GRUESO RECICLADO Y 5% DEL CATALIZADOR AGOTADO 61
TABLA XLVIII COMPARACIÓN DE RESULTADOS 61

ÍNDICE DE FIGURAS

Fig. 1. Recolección de agregado grueso convencional de la cantera "Las Viñas" de la Constructora Alvarado 12
Fig. 2. Obtención de la arena negra de la ciudad de Baños 12
Fig. 3. Recolección de Escombros de Hormigón por la zona de la Av. Luis Aníbal Granja 13
Fig. 4. Recolección de Escombros de Hormigón en las inmediaciones de la Universidad Técnica de Ambato 13
Fig. 5. Transporte de los Escombros de Hormigón hacia la cantera "Las Viñas" de la Constructora Alvarado 14
Fig. 6. Planta de trituración de la Cantera "Las Viñas" de la Constructora Alvarado 14
Fig. 7. Obtención del agregado triturado 14
Fig. 8. Obtención del Catalizador Agotado de Craqueo Catalítico Fluidizado de la Refinería Estatal de Esmeraldas 15
Fig. 9. Encofrado de las vigas 21
Fig. 10. Posición del armado dentro del encofrado de las vigas 23
Fig. 11. Elaboración de las probetas patrón para la dosificación 26
Fig. 12. Fundición de las vigas convencionales 27
Fig. 13. Compactación a partir de los 25 golpes 29
Fig. 14. Desencofrado de las vigas a las 24 horas 29
Fig. 15. Curado de las vigas con Antisol y forrado con Film Plástico 30
Fig. 16. Sika Antisol 30
Fig. 17. Film Plástico 30
Fig. 18. Ensayo de viga a flexión en 3 puntos 31
Fig. 19. Carga intermedia para el ensayo de viga a flexión en 3 puntos 31
Fig. 20. Análisis granulométrico del agregado fino 35
Fig. 21. Análisis granulométrico del agregado grueso 36
Fig. 22. Análisis granulométrico del agregado grueso reciclado 38
Fig. 23. Porcentaje óptimo VS Densidad aparente 46
Fig. 24. Resistencia de los cilindros a la compresión a los 7 días de edad 53
Fig. 25. Resistencia de los cilindros a la compresión a los 14 días de edad 54
Fig. 26. Resistencia de los cilindros a la compresión a los 28 días de edad 55
Fig. 27. Diagrama de fuerza VS desplazamiento para vigas convencionales 57
Fig. 28. Diagrama de fuerza VS desplazamiento para vigas con agregado grueso reciclado y 5% del catalizador agotado 58
Fig. 29. Diagrama de fuerza VS desplazamiento para vigas con agregado grueso reciclado y 10% del catalizador agotado 59

RESUMEN EJECUTIVO

Debido a las problemáticas medioambientales existentes en la industria de la construcción, se optó por la utilización de agregados gruesos reciclados para la elaboración de vigas de hormigón armado. De esta manera, esta investigación se centró en el diseño de vigas con las cuales se determinó la resistencia a la flexión, siendo la resistencia a la compresión del hormigón utilizado de 280 kilogramos por centímetros cuadrados, agregando catalizador agotado de craqueo catalítico fluidizado como sustituto parcial del agregado fino en un 5 y 10 por ciento, y reemplazando completamente el agregado grueso convencional con agregado grueso triturado proveniente de elementos de hormigón reciclados.

Para este proyecto se llevaron a cabo ensayos físicos y mecánicos tanto en los agregados naturales como en los agregados sustitutos, siendo el caso del agregado grueso reciclado y el catalizador agotado, siguiendo las normas técnicas vigentes en Ecuador (NTE-INEN). De esta manera se evaluó la resistencia a flexión de vigas de hormigón armado preparadas con agregado grueso reciclado y catalizador agotado de craqueo catalítico fluidizado. Se obtuvieron los materiales sustitutos y se realizaron ensayos requeridos bajo las normativas, tanto de los agregados reciclados, como de los agregados naturales.

Los resultados mostraron que las vigas con un 10 por ciento de catalizador agotado de craqueo catalítico fluidizado en reemplazo del agregado fino y agregado grueso reciclado a partir de elementos de hormigón triturados, presentaron una mayor resistencia a la flexión a los 28 días en comparación con las vigas con un 5 por ciento de sustitución y aquellas hechas con materiales convencionales.

Palabras Clave: Vigas de hormigón, Resistencia a flexión, Catalizador agotado, Agregados naturales, Agregados reciclados.

ABSTRACT

Due to the existing environmental problems in the construction industry, the use of recycled coarse aggregates was chosen for the production of reinforced concrete beams. In this way, this research focused on the design of beams with which the flexural resistance was determined, with the compressive strength of the concrete used being 280 kilograms per square centimeter, adding spent catalyst from fluidized catalytic cracking as a partial substitute. of fine aggregate by 5 and 10 percent, and completely replacing conventional coarse aggregate with crushed coarse aggregate from recycled concrete elements.

For this project, physical and mechanical tests were carried out on both natural aggregates and substitute aggregates, in the case of recycled coarse aggregate and spent catalyst, following the technical standards in force in Ecuador (NTE-INEN). In this way, the flexural strength of reinforced concrete beams prepared with recycled coarse aggregate and spent catalyst from fluidized catalytic cracking was evaluated. Substitute materials were obtained and tests required under the regulations were carried out, both on recycled aggregates and on natural aggregates.

The results showed that the beams with 10 percent spent catalyst from fluidized catalytic cracking replacing the fine aggregate and coarse aggregate recycled from crushed concrete elements, presented a greater flexural strength at 28 days compared to the beams with 5 percent replacement and those made with conventional materials.

Keywords: Concrete beams, Flexural strength, Exhausted catalyst, Natural aggregates, Recycled aggregates.

I. CAPITULO I.- MARCO TEÓRICO

A. Antecedentes investigativos

Con el paso del tiempo, el uso del concreto convencional se ha mantenido en la cima como el material predominante en la construcción dentro de Ecuador, así como a nivel mundial, esto debido a sus propiedades mecánicas que benefician a las aplicaciones del concreto, al igual que sus características de rendimiento, facilidad de instalación y ahorro de costes. Sin embargo, a partir del estudio de expertos medioambientales se ha generado una preocupación sobre su proceso de fabricación, ya que se estima que contribuye entre un 5% y 7% de las emisiones totales de CO2 propagadas a la atmósfera, de modo que influye desfavorablemente en el problema del calentamiento global. [1]

Para abordar este tema, la industria de la construcción ha tomado iniciativas que busquen reducir el impacto medioambiental, siendo una de ellas la implementación de agregado grueso reciclado. Dado que la producción de materiales convencionales sigue en marcha, su demanda continúa en aumento y la explotación agresiva tiene un impacto ambiental negativo; se han tomado alternativas para satisfacer las necesidades constructivas mediante la reutilización de estos materiales. De esta manera, el reciclaje de residuos de hormigón ha despertado el interés de varios países industrializados tales como España, Alemania, Dinamarca y Holanda, los mismos que han obtenido beneficios económicos y principalmente ambientales. [2]

Por su parte, entre otras propuestas analizadas, resalta la implementación de materiales suplementarios que contribuyan en la creación de un plan sostenible frente a los residuos industriales y que tengan como objetivo la reducción de la dependencia del cemento Portland; como tales materiales se destaca la presencia de las cenizas volantes (CV) que ayudan en la trabajabilidad y durabilidad del hormigón; la escoria granular de alto horno (EAGH) que benefician a la resistencia y densidad a largo plazo del concreto; y catalizadores agotados mediante procesos de craqueo catalítico fluidizado (FCC). [1]

Los procesos de craqueo catalítico fluidizado (FCC) hacen mención a los desechos producidos en la industria petrolera, específicamente dentro de las instalaciones de refinación, donde se ven involucrados los procesos de descomposición de las cadenas de hidrocarburos de alta densidad de las cuales se obtiene un aumento en la producción de gasolina. [3]

Es así como el craqueo ha tenido mucha relevancia en el entorno petroquímico como consecuencia de sus beneficios, por otra parte dentro de los procesos catalíticos más relevantes

se hallan técnicas tales como la del fluido catalítico y la técnica del lecho fluidizado, siendo esta última utilizada en estado de polvo fino. [3]

Hace algunos años, la práctica de verter catalizadores agotados fue muy común en la mayoría de los sectores industriales. De modo que al existir ausencia de legislación ecológica y conciencia de la vertiente nociva de los materiales de desecho para el medio ambiente, los catalizadores agotados no se procesaban de una manera adecuada, lo que conllevaba a la liberación de una amplia gama de sustancias nocivas para el medio ambiente y la contaminación del suelo, así como de cuerpos de agua superficiales. [4]

El problema fue resuelto por la industria con la creación de condiciones adecuadas para la neutralización de desechos similares, de modo que en la actualidad a través del desarrollo de métodos de reciclaje, algunos de estos residuos han sido clasificados como peligrosos y tóxicos en diferentes países. [4]

Según estudios, en las instalaciones de craqueo catalítico de lecho fluidizado (FCC) se produce un número estimado de 400 000 toneladas de catalizadores agotados por año a nivel mundial, siendo el proceso de refinación más significativo. Así mismo, es importante el adecuado control de los procesos de dichos catalizadores, ya que una gestión inapropiada podría causar severos problemas que afecten el entorno a causa de la presencia de metales, los mismos que analizados con la severidad del caso pueden ser recuperados del catalizador agotado previo a su extracción. [4]

En Ecuador, los catalizadores agotados derivados del proceso de refinación del petróleo, así como el coque, son considerados extremadamente tóxicos para el medio ambiente. Esta clasificación se debe a las características peligrosas que presentan estos materiales, tales como su capacidad para liberar metales pesados y compuestos químicos nocivos. Por esta razón, han sido clasificados como desechos peligrosos según lo establecido en el Listado Nacional de Desechos Peligrosos por fuente específica del Acuerdo Ministerial N°142 del Ministerio del Ambiente de Ecuador. [5]

Sin embargo, existen varias formas innovadoras y sostenibles en torno a la valorización de los catalizadores agotados de FCC, considerándose como un punto de vista clave el hecho de utilizar catalizadores como un combustible de reemplazo en una planta cementera y agregarlo en el proceso de fabricación de cemento. Además de este uso, es posible utilizar catalizadores agotados como un aditivo en la producción de cemento portland, fomentando de

esta manera una economía circular, ya que, a su vez, reducirá la necesidad de materias primas vírgenes. [5]

Otra aplicación importante es su uso en la producción de fritas cerámicas, donde los catalizadores implementan una función crucial; así mismo, hay que mencionar su utilización como aditivo inorgánico en la producción de escaques esmaltados para pavimento gresificado. En este caso, la función del catalizador no se limita a expandir la reutilización de residuos de materias primas industriales, sino a la garantía de propiedades superiores del resultado final, como la durabilidad y resistencia. [5]

Durante el periodo de funcionamiento de la unidad de craqueo catalítico fluidizado (FCC), el catalizador que en un principio es eficiente y activo, comienza a perder su eficacia y se vuelve menos activo con el tiempo; este proceso de desgaste sucede primordialmente por la contaminación que el catalizador zeolítico experimenta. Mientras se produce petróleo crudo, el catalizador se mezcla con diferentes metales, como los alcalinos y los pesados, como resultado de su continua interacción con los hidrocarburos. [6]

Estos metales al ser depositados sobre la superficie del catalizador, alteran su forma y hacen que se comporte de una manera diferente, siendo la reducción de su área superficial uno de los cambios más significativos. Este hecho sucede cuando los metales se apoderan de los sitios activos del catalizador, dando como resultado que éste se vuelva menos eficaz para descomponer el petrolero crudo, lo que provoca una disminución en la producción de productos valiosos. Además, la presencia de estos metales pesados y alcalinos hacen que el catalizador se vuelva más denso, haciéndolo más eficaz. [6]

La forma en que funciona el catalizador afecta la eficacia del proceso de descomposición de los hidrocarburos pesados en otros más ligeros. De esta manera, cuando se reduce la superficie de un catalizador, tiene menos lugares para hacer su trabajo, lo que lo hace menos eficaz para convertir el petróleo crudo en productos valiosos; por otro lado, a medida que la unidad FCC se vuelve más densa, podría dificultar la fluidez del catalizador, así como su trabajabilidad. [6]

Dentro de la relación entre los procesos de craqueo catalítico fluidizado (FCC) ya mencionados y su vínculo con la producción de hormigones; según Payá, una de las primeras indagaciones sobre la reutilización de catalizadores agotados se remonta al año de 1997, fecha en la que los recursos procedentes de industrias petroleras despertaron la curiosidad de investigadores que buscaban crear una mejoría en la fabricación de morteros. De esta manera,

los encargados de estas investigaciones llegaron a la conclusión de que los hormigones con presencia de catalizador agotado de craqueo catalítico en lecho fluidizado ofrecían particularidades semejantes a los hormigones fabricados de manera convencional, y que su tiempo de actividad podría ser aplicado en la actualidad, de modo que el catalizador se combine con el mortero directamente y desde la fábrica. [7]

Existen diferentes puntos de vista donde se aprueba la aplicación de craqueo catalítico fluidizado (FCC) dentro del proceso de fabricación del hormigón, siendo uno de ellos el analizado desde una perspectiva económica, en la que se considera viable disminuir tanto los costos de producción, como consecuentemente, el consumo energético generado en el mismo. De igual manera, desde una perspectiva ambiental, la aplicación del catalizador contribuye significativamente a la reducción del impacto del ambiente, ya que al ser empleados en el proceso de fabricación del hormigón, estos no serán desechados y, por lo tanto, no serán considerados como residuos, los cuales puedan afectar al entorno; así mismo, la reducción del cemento en el proceso de obtención del mismo, será directamente proporcional a la reducción de emisiones de CO2. En todos los casos, la inclusión de residuos conserva o incluso mejora las propiedades del material, como su resistencia a la compresión y su durabilidad. [8]

Por otra parte, el residuo del craqueo catalítico fluidizado (FCC) ha despertado considerable interés como material suplementario, de modo que a partir de diversos estudios se ha demostrado que este residuo puede llegar a incrementar la resistencia a compresión entre un 20% a 30% en un corto plazo. De igual manera se determinó que tiene una influencia significativamente positiva en la durabilidad del hormigón, lo que lo posiciona como un sustituto eficaz del cemento, comparable a otras puzolanas ampliamente usadas, tales como el metakaolín o el humo de sílice. [9]

Actualmente, los investigadores dedicados a la reutilización de desechos y aplicación de aditivos en los procesos de elaboración de hormigón buscan disminuir las cantidades de cemento utilizadas en los mismos, de modo que en un futuro se erradiquen los procesos de hormigones convencionales a favor de cuidar y proteger el medioambiente; de igual manera se hayan en la misión de crear hormigones con presencia de dichos aditivos que busquen otorgar iguales o mejores propiedades físicas y mecánicas.

Dentro del país, se continúa a gran medida con la fabricación de hormigones convencionales, los cuales ofrecen propiedades tanto físicas como mecánicas en sus diferentes estados; por ejemplo, el hormigón en estado fresco debe asegurar una probabilidad suficiente

para facilitar su manipulación y colocación adecuada en obra, para lo cual debe presentar propiedades como trabajabilidad, consistencia, cohesión y fluidez. Por último, en un estado endurecido el hormigón experimenta la transición de un estado plástico a un estado sólido después de haberse completado su proceso de fraguado, donde dicho cambio conduce a mejorar las propiedades mecánicas del concreto, siendo estas propiedades la resistencia a compresión, resistencia a tracción, módulo de elasticidad, y flexión. [10]

En general, el hormigón convencional se identifica por caracterizarse de propiedades con valores medios, los cuales se ven representados por una densidad de 2200 a 2500 kg/m3, así como una resistencia a la compresión comprendida de 100 a 500 kg/cm2; así mismo, respecto a valores de tiempo de fraguado, este tipo de fabricación de hormigones presenta un tiempo medio de 2,5 horas. Entre otras propiedades se resalta que es relativamente baja su resistencia a tracción, la misma que generalmente no es relevante para los cálculos generales del diseño. [11]

De esta manera, el hormigón convencional tiene propiedades superficiales importantes, entre las que destacan su adhesividad y cohesión, las mismas que permiten la combinación de diferentes minerales dentro de la mezcla, accediendo a la aplicación de aditivos que refuercen dichas propiedades físicas y mecánicas. [11]

Es así como entre la aplicación de aditivos se encuentra el craqueo catalítico fluidizado (FCC), el cual para el presente proyecto de investigación se lo recolectó a partir de sacos entregados por medio de la Refinería Estatal de Esmeraldas, la cual se encuentra localizada en la provincia de Esmeraldas al noroeste del país, a 3.8 Km del Océano Pacífico, extendiéndose sobre una superficie de más de un millón de metros cuadrados y, a 7.5 Km de la ciudad de Esmeraldas, en la carretera hacia Atacames. [12]

La Refinería Estatal de Esmeraldas (REE) es un componente importante del sector petrolero del país, en especial por aplicar el proceso de FCC, siendo este fundamental para la producción de combustibles, así como otros productos petrolíferos. Además, dicho proceso es considerado como el núcleo central de las instalaciones de la REE, debido a su importancia en la refinación. [13]

En resumen, el estudio del FCC de la Refinería Estatal de Esmeraldas cubre un análisis integral del proceso de craqueo catalítico, su ubicación y el impacto de esta crucial industria petrolera en Ecuador.

B. Objetivos

1) Objetivo general:

Evaluar la resistencia a flexión de vigas de hormigón armado preparado con agregado grueso reciclado y adicionando catalizador agotado de craqueo catalítico fluidizado.

2) Objetivos específicos:

- Determinar las propiedades físicas y mecánicas de los materiales requeridos para la elaboración de hormigón.
- Analizar las propiedades físicas y mecánicas del hormigón modificado con catalizador agotado de craqueo catalítico fluidizado para una dosificación de 280Kg/cm2 a los 28 días de curado, utilizando agregado grueso reciclado del hormigón y catalizador con adición del 5% y 10% en reemplazo del agregado fino.
- Comparar el comportamiento de las muestras de hormigón que contienen agregado grueso reciclado y catalizador agotado de craqueo catalítico fluidizado con las de hormigón convencional en términos de resistencia a la flexión a los 28 días de curado.

II. CAPÍTULO II.- METODOLOGÍA

El presente trabajo de investigación se desarrolló al cabo de tres fases para su respectiva ejecución. La fase I consistió en determinar las propiedades físicas y mecánicas de los materiales requeridos para la elaboración de hormigón. Por su parte, la fase II se centró en analizar las propiedades físicas y mecánicas del hormigón modificado con catalizador agotado de craqueo catalítico fluidizado para una dosificación de 280 Kg/cm2 a los 28 días de curado, utilizando agregado grueso reciclado del hormigón en su totalidad y catalizador con adición del 5% y 10% en reemplazo del agregado fino. Finalmente, la fase III se basó en comparar el comportamiento de las muestras de hormigón que contienen agregado grueso reciclado en su totalidad y catalizador agotado de craqueo catalítico fluidizado con las de hormigón convencional en términos de resistencia a la flexión a los 28 días de curado.

A continuación, se describen los materiales y métodos aplicados en cada una de las fases, así como las actividades realizadas con la finalidad de cumplir con los objetivos establecidos.

A. Materiales y equipos

De forma general, en cada una de las fases del presente proyecto se utilizó una laptop DELL P85F, la cual se aprovechó al redactar la información de dichas etapas, sacando provecho el uso de programas como Microsoft Word y Microsoft Excel, así como Microsoft PowerPoint.

Específicamente, dentro de lo que comprende la fase I, los materiales predominantes fueron aquellos que intervienen en la fabricación de hormigones, tales como el cemento, agua, arena y ripio.

Como equipos, destacó la presencia del horno eléctrico, indispensable en el proceso de esta etapa; así también, se utilizaron equipos propios del laboratorio de la Universidad Técnica de Ambato, tales como tamices metálicos y tamizadoras eléctricas, necesarios en la separación y clasificación de los agregados finos y gruesos. Así mismo, resaltó el uso de la balanza electrónica, picnómetro, pipeta, entre otros instrumentos básicos.

A continuación se presenta mediante tablas y de manera detallada los materiales y equipos utilizados en la fase I del proyecto experimental:

TABLA I
MATERIALES Y EQUIPOS UTILIZADOS PARA EL ENSAYO GRANULOMÉTRICO DE LOS AGREGADOS

Ensayo de Análisis granulométrico del agregado grueso		
Materiales y equipos	**Detalle**	
Horno Eléctrico	Marca:	Humboldt
	Voltaje:	110 V
	Temperatura regulable:	Hasta 232°C
Tamices Metálicos	Tamaño:	1 1/2", 1", 3/4", 1/2", 3/8", #4 y bandeja
	Dimensiones:	50 x 50 cm
Balanza Electrónica	Marca:	Boeco
	Unidad:	Kg
Ensayo de Análisis granulométrico del agregado fino		
Materiales y equipos	**Detalle**	
Horno Eléctrico	Marca:	Humboldt
	Voltaje:	110 V
	Temperatura regulable:	Hasta 232°C
Tamices Metálicos	Tamaño:	3/8", #4,#8,#16,#30,#50,#100,#200 y bandeja
	Diámetro:	25 cm
Tamizadora Eléctrica	Marca:	Controls
	Capacidad:	15 tamices
Balanza Electrónica	Marca:	Boeco
	Unidad:	Gr

TABLA II
MATERIALES Y EQUIPOS UTILIZADOS PARA EL ENSAYO DE CAPACIDAD DE ABSORCIÓN DE LOS AGREGADOS

Ensayo de Densidad real y capacidad de absorción de agregado grueso		
Materiales y equipos	**Detalle**	
Horno Eléctrico	Marca:	Humboldt
	Voltaje:	110 V
	Temperatura regulable:	Hasta 232°C
Canastilla Metálica	Malla:	#8
	Dimensiones:	20,3 x 20,3 cm
Balanza Electrónica	Marca:	Boeco
	Unidad:	Kg
Ensayo de Densidad real y capacidad de absorción de fino		
Materiales y equipos	**Detalle**	
Horno Eléctrico	Marca:	Humboldt
	Voltaje:	110 V
	Temperatura regulable:	Hasta 232°C
Balanza Electrónica	Marca:	Boeco
	Unidad:	Gr
Picnómetro y Pipeta	Material:	Vidrio
	Volumen:	500 ml
Cono de absorción y pisón	Material del cono:	Bronce
	Material del pistón:	Acero
	Diámtro del cono:	40 x 90 x 70 mm
	Diámetro de pistón:	25,5 x 170 mm

TABLA III
MATERIALES Y EQUIPOS UTILIZADOS PARA EL ENSAYO DE DENSIDAD APARENTE Y COMPACTADO DE LOS AGREGADOS

Ensayo de Densidad aparente y compactado de los agregados fino y grueso		
Materiales y equipos	**Detalle**	
Balanza Electrónica	Marca:	Boeco
	Unidad:	Kg
Molde metálico para densidad aparente	Diámetro:	30 cm
Varilla Compactadora	Dimensiones:	6,1 x 1,6 cm

TABLA IV
MATERIALES Y EQUIPOS UTILIZADOS PARA EL ENSAYO DE DENSIDAD DEL CEMENTO

Ensayo de Densidad del cemento		
Materiales y equipos	**Detalle**	
Gasolina	Gasolinera:	Primax
Picnómetro y Pipeta	Material:	Vidrio
	Volumen:	500 ml
Balanza Electrónica	Marca:	Boeco
	Unidad:	Kg

TABLA V
MATERIALES Y EQUIPOS UTILIZADOS PARA EL ENSAYO DE CONTENIDO DE HUMEDAD

Ensayo de Contenido de Humedad del agregado fino y grueso		
Materiales y equipos	**Detalle**	
Horno Eléctrico	Marca:	Humboldt
	Voltaje:	110 V
	Temperatura regulable:	Hasta 232°C

En lo que respecta a la fase II, se utilizaron materiales y equipos propios al proceso de elaboración de vigas de hormigón armado, así como a la fabricación de los cilindros sometidos posteriormente a ensayos de compresión.

De esta manera, dentro de los equipos fue indispensable la utilización de la máquina de compresión y la máquina de flexión, las cuales fueron necesarias dentro de los respectivos ensayos de carga. Así mismo, cabe mencionar la utilización de otros equipos, tales como el Cono de Abrams, el cual fue importante para la determinación del asentamiento del concreto.

Como otros materiales, se utilizaron moldes de madera de 20x20x150 cm necesarios para encofrar y dar forma a las vigas de hormigón. Cabe tener en cuenta que también se utilizó acero al tratarse de vigas de hormigón armado, las mismas que posteriormente fueron sometidas a ensayos de flexión.

Así mismo, es muy importante mencionar el uso de la concretera, con la que fue posible mezclar los materiales necesarios para la producción del concreto. A continuación se detallan de mejor manera los materiales y equipos utilizados:

TABLA VI
MATERIALES Y EQUIPOS UTILIZADOS PARA LA ELABORACIÓN DE VIGAS

Materiales y equipos	**Detalle**		
Moldes para Vigas	Material:	Madera	
	Dimensiones:	1,50 x 0,20 x 0,20 m	
Acero Estructural	Varilla Longitudinal	Longitud:	1,45 m
		Pata:	14,5 cm
		Diámetro:	12 mm
	Estribos	Longitud:	15 cm
		Pata:	7,5 cm
		Diámetro:	10 mm
Cono de Abrams	Dimensiones:	Base superior:	100 mm
		Base inferior:	200 mm
		Altura:	300 mm
Concretera a Gasolina	Voltaje:	De 110 a 220 V	
Vibrador de concreto a Gasolina	Potencia:	6,5 hp	
	Diámetro del tanque:	3,6 m	
	Diámetro del vástago	38 mm	
	Diámtro del chicote:	13 mm	
	Lontigud del chicote:	6,30 m	
Varilla Compactadora	Dimensiones:	60,1 x 1,6 cm	
Martillo de goma	Material:	Caucho sintético	
Cámara de curado	Temperatura:	23°C +- 2°C	
	Dimensiones:	Base superior:	100 mm
		Base inferior:	200 mm
		Altura:	300 mm

TABLA VII
MATERIALES Y EQUIPOS UTILIZADOS PARA EL ENSAYO A FLEXIÓN DE VIGAS

Materiales y equipos	**Detalle**		
Máquina de compresión y Flexión	Máquina hidráulica a prueba de explosiones	Marca:	Shimadzu
		Software:	Trapezium X
		Capacidad:	40 a 200 KN
Placa de Soporte	Dimensiones	Longitud:	2,40 m
		Ancho:	25 cm
		Espesor:	3 cm

Finalmente, en la fase III se utilizaron materiales y equipos característicos a la toma de apuntes, con la misión de recolectar los resultados obtenidos a partir de los ensayos a flexión de cada una de las vigas elaboradas y ensayadas en las fases anteriores y, posterior a ello, compararlos y detallarlos utilizando la computadora mencionada anteriormente.

B. Métodos

A continuación se explica la metodología que se utilizó en cada una de las fases de este trabajo.

1) Fase I:

Dentro de lo que comprende la fase I, en esta etapa se determinaron las propiedades físicas y mecánicas de los materiales requeridos para la elaboración del hormigón, por lo que se aplicó un método cuantitativo, debido a que se recolectaron datos numéricos específicos de los materiales empleados para dicho proceso. Esto incluyó la medición de la granulometría de los agregados, la consistencia del cemento y la relación agua/cemento, así como la densidad y absorción de los agregados finos y gruesos. De esta manera, para cumplir con los objetivos de dicha fase se aplicaron las siguientes actividades: La ejecución de ensayos normalizados según normas ASTM y, la recopilación y análisis de datos estadísticos para evaluar el rendimiento y la calidad de los materiales empleados. Así mismo, se documentaron todas las observaciones y resultados obtenidos durante las pruebas para establecer una base de datos precisa y detallada que guiará las fases posteriores del proyecto.

a) Recolección de información bibliográfica acerca de la fabricación de hormigones convencionales:

Se extrajo toda la información necesaria y relacionada con la fabricación de hormigones convencionales, centrada prioritariamente en los ensayos y procesos a realizarse para determinar las propiedades físicas y mecánicas de los materiales influyentes en su elaboración. Esta recopilación de información incluyó la revisión de normas técnicas como las ASTM y las especificaciones del ACI, así como estudios de caso y literatura científica reciente sobre innovaciones y mejores prácticas en la fabricación de hormigón. De este modo, se realizó una investigación exhaustiva de los ensayos a tratarse en este apartado, abarcando pruebas de resistencia a la compresión y flexión, mediciones de la densidad y absorción de los agregados, así como la consistencia y trabajabilidad del cemento. Además, se revisaron procedimientos de muestreo y preparación de especímenes, así como técnicas de curado y conservación, para asegurar la obtención de datos precisos y reproducibles. Este enfoque integral permitió identificar los parámetros críticos que influyen en la calidad del hormigón y establecer un protocolo riguroso para su evaluación y control.

b) Recolección del agregado grueso y agregado fino para la fabricación de hormigones convencionales:

El agregado grueso se obtuvo de la cantera “Las Viñas” de la Constructora Alvarado, ubicada en la ciudad de Ambato. En este lugar, se procedió a recoger mediante lonas los fragmentos de roca, considerados como agregado grueso de 3/4 de pulgada, asegurando que cumplieran con los estándares de calidad y granulometría requeridos para la elaboración del concreto. Este proceso incluyó la selección cuidadosa de los fragmentos, evitando la inclusión de partículas contaminantes y asegurando la homogeneidad del material. Por su parte, para la obtención del agregado fino, fue necesario trasladarse hasta la ciudad de Baños, conocida por sus recursos naturales ricos y variados. Allí se consiguieron sacos de arena negra, la cual fue seleccionada debido a sus características específicas, como su alta densidad y contenido mineral. Este material se sometió a un proceso de tamizado para eliminar cualquier impureza y asegurar una granulometría uniforme, garantizando así su idoneidad para su uso en la mezcla de hormigón. La arena negra de Baños fue elegida por su capacidad de mejorar la trabajabilidad y cohesión de la mezcla, además de aportar beneficios adicionales en términos de resistencia y durabilidad del producto final.



Fig. 1. Recolección de agregado grueso convencional de la cantera "Las Viñas" de la Constructora Alvarado



Fig. 2. Obtención de la arena negra de la ciudad de Baños

c) Recolección del agregado grueso y agregado fino para la fabricación de hormigones preparados con agregado grueso reciclado y adicionando catalizador agotado de craqueo catalítico fluidizado:

Tanto el agregado grueso como el agregado fino fueron extraídos de la cantera "Las Viñas", propiedad de la Constructora Alvarado, ubicada en Ambato. En este lugar, se procedió a triturar los escombros que se recolectaron de lugares específicos de la ciudad de Ambato, considerados como agregado grueso, los cuales fueron transportados en una camioneta mediante el uso de lonas. Así mismo, para la obtención del catalizador agotado de craqueo catalítico fluidizado fue necesario trasladarse hasta la Refinería Estatal de Esmeraldas, ubicada en la ciudad de Esmeraldas.



Fig. 3. Recolección de Escombros de Hormigón por la zona de la Av. Luis Aníbal Granja



Fig. 4. Recolección de Escombros de Hormigón en las inmediaciones de la Universidad Técnica de Ambato



Fig. 5. Transporte de los Escombros de Hormigón hacia la cantera "Las Viñas" de la Constructora Alvarado



Fig. 6. Planta de trituración de la Cantera "Las Viñas" de la Constructora Alvarado



Fig. 7. Obtención del agregado triturado



Fig. 8. Obtención del Catalizador Agotado de Craqueo Catalítico Fluidizado de la Refinería Estatal de Esmeraldas

d) Ensayos de laboratorio:

Análisis granulométrico de agregados gruesos y finos según la norma NTE INEN 696:2010 y ASTM C-136

El análisis granulométrico de agregados gruesos y finos se llevó a cabo para determinar la distribución del tamaño de las partículas de los materiales, siguiendo las directrices establecidas en las normas NTE INEN 696:2010 y ASTM C-136. Este procedimiento es crucial para evaluar la idoneidad de los agregados en la fabricación de hormigón.

Este ensayo se realizó en el laboratorio de mecánica de suelos de la Universidad Técnica de Ambato, en el cual se procedió a trabajar con el agregado grueso y fino antes ya mencionados.

Como primer paso se realizó la preparación de la muestra, dónde se recolectaron muestras representativas de los agregados gruesos y finos, asegurándose de que estas fueran homogéneas y reflejaran correctamente las características del lote de material. Después de ello, las muestras recolectadas se secaron en un horno a una temperatura de 110 ± 5°C hasta alcanzar un peso constante, eliminando así toda la humedad presente. Una vez secas, las muestras se pesaron con una balanza de precisión, para lo cual este peso inicial es fundamental para calcular los porcentajes retenidos en cada tamiz.

Por consiguiente, se preparó una serie de tamices de malla estándar, con aberturas decrecientes. Los tamices utilizados variaron en tamaño desde tamices gruesos (como el de 3/4” para agregados gruesos) hasta tamices finos (como el tamiz #200 para agregados finos). En este proceso las muestras se colocaron en el tamiz superior de la serie y se sometieron a un proceso

de agitación, durante un tiempo específico para asegurar que las partículas pasaran a través de las mallas correspondientes.

Después del tamizado, cada fracción de material retenida en los tamices se recogió cuidadosamente y se pesó por separado; este proceso se repitió para cada tamiz de la serie. En el caso del agregado fino, se prestó especial atención a las fracciones retenidas en los tamices más finos, asegurando una medición precisa de las partículas más pequeñas.

Finalmente, se calcularon los porcentajes de material retenido en cada tamiz y los porcentajes acumulados. Estos datos se utilizaron para construir una curva granulométrica, que representa la distribución del tamaño de las partículas. Los resultados obtenidos se compararon con las especificaciones de las normas NTE INEN 696:2010 y ASTM C-136 para determinar si los agregados cumplían con los requisitos establecidos para su uso en la producción de hormigón. [14] [15]

TABLA VIII
TAMAÑO NOMINAL DE LOS AGREGADOS GRUESOS Y FINOS

Tamaño Nominal Máximo			
Árido Fino		**Árido Grueso**	
(mm)	**(in)**	**(mm)**	**(in)**
9,5	3/8	50,8	2
4,75	N4	38,1	1 1/2
2,36	N8	26,67	1
1,18	N16	18,85	3/4
600	N30	13,32	1/2
300	N50	9,5	3/8
150	N100	0,15	4

Contenido de humedad del agregado grueso y agregado fino según la norma NTE INEN 862:2011 y ASTM C-566

Para determinar el contenido de humedad del agregado grueso y fino, se siguieron los procedimientos establecidos en las normas NTE INEN 862:2011 y ASTM C-566. A continuación, se describe de manera resumida el proceso ejecutado.

Como primer paso se recolectaron muestras representativas de los agregados gruesos y finos, asegurándose de que reflejaran correctamente las condiciones del lote de material. Por consiguiente, las muestras se pesaron en su estado húmedo utilizando una balanza de precisión para obtener el peso húmedo inicial.

Una vez pesadas las muestras, se colocaron en un horno de secado a una temperatura de 110 ± 5°C, las mismas que dejaron en el horno hasta alcanzar un peso constante, asegurando la completa eliminación de la humedad presente.

Después del secado, las muestras se retiraron del horno y se dejaron enfriar a temperatura ambiente en un desecador para evitar la absorción de humedad del aire, de manera que una vez enfriadas, se pesaron nuevamente para obtener el peso seco final.

Se calculó el contenido de humedad utilizando la siguiente fórmula:

$$\%\mathrm{CH} = \frac{Ww}{Ws} * 100 \qquad \textit{(Ec. 1)}$$

Dónde:

%CH = Porcentaje de contenido de humedad

Ww = Peso del agua

Ws = Peso de la muestra seca

Los datos obtenidos se registraron meticulosamente, incluyendo el peso húmedo inicial, el peso seco final, y el contenido de humedad calculado. [16] [17]

Densidad real y capacidad de absorción del agregado grueso según la norma NTE INEN 857:2010 y ASTM C-127

Para determinar la densidad real y la capacidad de absorción del agregado grueso, se siguieron los procedimientos establecidos en las normas NTE INEN 857:2010 y ASTM C-127. A continuación, se describe de manera resumida el proceso ejecutado.

En primera instancia se recolectaron muestras representativas del agregado grueso convencional, las mismas que se lavaron para eliminar cualquier polvo o impureza adherida y se dejaron secar hasta alcanzar una condición de superficie seca. Luego, las muestras secas se pesaron con una balanza de precisión para obtener el peso seco inicial.

Las muestras se sumergieron en agua durante un tiempo específico (24 horas) para asegurar una completa saturación. Después de la inmersión, las muestras se retiraron y se secaron para eliminar el exceso de agua, obteniendo una condición de superficie seca saturada. Es así como las muestras en esta condición se pesaron para obtener el peso saturado con superficie seca.

Finalmente, las muestras saturadas se suspendieron en agua y se pesaron mientras estaban completamente sumergidas, obteniendo el peso en agua.

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

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

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

Dónde:

DRA = Densidad real de la arena

DRR = Densidad real del ripio

CA(%) = Porcentaje de capacidad de absorción

Msss = Masa en condición saturada superficie seca

Magua = Masa en contacto con el agua

Mseco = Masa en condición seca

Este proceso sistemático permitió determinar con precisión la densidad real y la capacidad de absorción del agregado grueso, parámetros esenciales para asegurar la calidad del concreto en su fabricación. [18] [19]

Densidad real y capacidad de absorción del agregado fino según la norma NTE INEN 856:2010 y ASTM C-128

Para determinar la densidad real y la capacidad de absorción del agregado fino, se siguieron los procedimientos establecidos en las normas NTE INEN 856:2010 y ASTM C-128. A continuación, se describe de manera resumida el proceso ejecutado.

En primer lugar, se recolectaron muestras representativas del agregado fino, las cuales se secaron en un horno a una temperatura de 110 ± 5°C hasta alcanzar un peso constante para eliminar toda la humedad.

Las muestras secas se pesaron con una balanza de precisión para obtener el peso seco inicial, las mismas que se sumergieron en agua durante un tiempo específico para asegurar una completa saturación. Después de ello, las muestras se secaron superficialmente, obteniendo una condición de superficie seca saturada.

Las muestras saturadas se colocaron en un contenedor volumétrico lleno de agua, y se determinó su masa total. Luego, se calculó el volumen desplazado por el agregado; en esta condición las muestras se pesaron para obtener el peso saturado con superficie seca.

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

Dónde:

DRA = Densidad real de la arena

Msss = Masa en condición saturada superficie seca

Vsss = Volumen del agua

Este proceso sistemático permitió determinar con precisión la densidad real y la capacidad de absorción del agregado fino, parámetros esenciales para asegurar la calidad y consistencia de las mezclas de concreto. [20] [21]

Densidad real del cemento según la norma NTE INEN 156:2005 y ASTM C-188

Para determinar la densidad real del cemento, se siguieron los procedimientos establecidos en las normas NTE INEN 156:2005 y ASTM C-188. A continuación, se describe de manera resumida el proceso ejecutado.

En este proceso se seleccionó un picnómetro limpio y seco y, se determinó la masa del picnómetro vacío. Por consiguiente, se llenó el picnómetro con un líquido de referencia hasta cierto nivel y se registró la masa total del picnómetro lleno.

Se añadió una cantidad conocida de cemento al picnómetro, asegurando que no haya burbujas de aire atrapadas. Luego, se llenó completamente con más líquido de referencia y se registró la masa total del picnómetro lleno con cemento

Finalmente, se determinó el volumen de cemento al restar el volumen del líquido de referencia al picnómetro lleno con cemento.

$$\mathrm{pc} = \frac{\mathrm{W_c}}{\left(\mathrm{W_{p+g}} - \mathrm{W_p} + \mathrm{W_c} - \mathrm{W_{p+c+g}}\right) * \mathrm{p_g}} \qquad \textit{(Ec. 6)}$$

Dónde:

pc = Densidad del cemento.

Wc = Peso del cemento añadido.

Wp = Peso del picnómetro vacío.

$Wp{+}g$ = Peso del picnómetro lleno de gasolina.

Wp+c+g = Peso del picnómetro con cemento y gasolina hasta el mismo nivel que cuando se midió

pg = Densidad de la gasolina

Este proceso aseguró la determinación precisa de la densidad real del cemento, un parámetro crítico para garantizar la calidad y la consistencia en su uso en aplicaciones de construcción y concreto. [22] [23]

Densidad Aparente Suelta y Compactada de los agregados según la norma NTE INEN 803:1998 y ASTM C-29

Para determinar la densidad aparente suelta y compactada de los agregados según las normas NTE INEN 803:1998 y ASTM C-29, se sigue un proceso estandarizado que incluye los siguientes pasos.

Inicialmente, se seleccionó una muestra representativa del agregado grueso y fino que se pretendió evaluar. Esta muestra tuvo que estar limpia y seca para evitar cualquier contaminación que pueda afectar los resultados.

Por consiguiente, se llenó un recipiente volumétrico conocido con una cantidad medida de agregado sin compactar. El agregado se vertió en capas controladas y se utilizó un método específico para asegurar que no haya segregación durante el llenado; luego se pesó el recipiente con el agregado y se registró el peso total.

$$\text{Densidad Aparente Suelta} = \frac{\mathrm{M_m}}{\mathrm{V_m}} \qquad \textit{(Ec. 7)}$$

Dónde:

Mm = Masa total de la muestra del agregado

Vm = Volumen total ocupado por la muestra del agregado

De igual manera, se compactó el mismo volumen de agregado en el recipiente utilizando un método estándar de compactación para alcanzar un estado de máxima densidad y; se pesó el recipiente con el agregado compactado y se registró el peso total.

$$\text{Densidad Aparente Compactada} = \frac{M_{mc}}{V_m} \qquad \textit{(Ec. 8)}$$

Dónde:

Mmc = Masa total de la muestra del agregado compactado

Vm = Volumen total ocupado por la muestra del agregado

Este proceso garantizó que los agregados cumplan con los requisitos de densidad especificados, asegurando así la calidad y la consistencia en su uso en la construcción de mezclas de concreto. [24] [25]

2) Fase II:

En la fase II del presente trabajo experimental, se llevó a cabo el proceso de fabricación de las vigas definitivas, dentro de lo que cabe la fabricación de los moldes y del armado. Así también, interviene el proceso de dosificación, como la elaboración de los cilindros, importantes para las pruebas de control de calidad del concreto.

a) Elaboración de vigas de hormigón armado preparadas a partir de los materiales requeridos:

Fabricación de moldes para las vigas

Para la correcta producción de las vigas, primero fue indispensable la creación de moldes que sirvan para contener y dar una forma adecuada a la mezcla que se vació dentro de estos. Estos moldes, también conocidos como encofrados, fueron creados a partir de tablas, las mismas que una vez unidas en forma de cajón, se les dio un dimensionamiento de 20 cm de altura, 20 cm de ancho y 1,50 m de longitud.



Fig. 9. Encofrado de las vigas

Fabricación del armado de las vigas

Para el armado de las vigas, primero fue necesario preparar el respectivo diseño de vigas de hormigón armado, las cuales teniendo en cuenta el dimensionamiento expuesto anteriormente, poseían 20 cm de alto, 20 cm de ancho y 1,50 m de longitud. De esta manera, teniendo en cuenta el cumplimiento de los estándares mínimos, se procedió a calcular el área de refuerzo necesario para las vigas.

Acero mínimo

El ACI 318 requiere una cantidad mínima de acero de refuerzo en vigas de hormigón para proporcionar ductilidad y evitar grietas. Este refuerzo mínimo garantiza que la viga pueda soportar cargas y deformaciones adicionales sin fallas repentinas. Así mismo, la norma también especifica porcentajes mínimos en función de las propiedades del acero, así como las dimensiones de la viga. Tales requisitos proporcionan el margen de seguridad necesario para la seguridad estructural. [26]

$$As_{min} = \frac{14}{fy} b_w * d \qquad \textit{(Ec. 9)}$$

Dónde:

Asmin = Área mínima de refuerzo de flexión

fy = Esfuerzo de fluencia del acero de refuerzo

bw = Ancho del alma de la viga

bw = Distancia efectiva desde la fibra extrema comprimida hasta el centroide del refuerzo longitudinal

TABLA IX
DIÁMETRO DE VARILLA COMERCIAL

Diámetro (mm)	Sección (cm2)	Peso (Kg/m)
6	0,283	0,222
8	0,503	0,395
10	0,785	0,617
12	1,131	0,888
16	2,011	1,578
20	3,142	2,466
25	4,909	3,853
32	8,042	6,313
40	12,566	9,865

Debido a que se utilizó el acero mínimo solicitado dentro del armado de cada una de las vigas, se empleó varilla de 12 mm para el acero longitudinal y varilla de 10 correspondiente a

los estribos. Así mismo, cabe mencionar que se colocaron estribos cada 4 cm en la zona de confinamiento y estribos cada 8 cm en lo que respecta a la zona central de la viga.



Fig. 10. Posición del armado dentro del encofrado de las vigas

b) Cálculo de dosificación:

Método de la densidad óptima

Con el propósito de determinar las cantidades adecuadas de agua, cemento, agregados gruesos y finos a utilizar para la elaboración de las vigas, se optó por determinar la dosificación mediante el método de densidad óptima proporcionado por la Universidad Central del Ecuador. [27]

A continuación se muestra la nomenclatura utilizada dentro de las fórmulas de dosificación del hormigón:

TABLA X
NOMENCLATURA PARA LA DOSIFICACIÓN DEL HORMIGÓN

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

La relación agua/cemento se determinó en función de la resistencia a la compresión del hormigón a los 28 días.

TABLA XI
RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN BASÁNDOSE EN LA RELACIÓN AGUA - CEMENTO

F´c (Mpa)	**Relación agua / cemento**
45	0,37
42	0,40
40	0,42
35	0,46
32	0,50
30	0,51
28	0,52
25	0,55
24	0,56
21	0,58
18	0,60

Se procedió a evaluar la densidad real de la combinación de agregados.

$$\mathrm{DRM} = \frac{\mathrm{DRA} * \mathrm{POA} + \mathrm{DRR} * \mathrm{POR}}{100} \qquad \textit{(Ec. 10)}$$

Se calculó el porcentaje ideal de porosidad.

$$\mathrm{POV} = \frac{\mathrm{DRM} - \mathrm{DOM}}{\mathrm{DRM}} * 100 \qquad \textit{(Ec. 11)}$$

Se determinó la cantidad apropiada de pasta de cemento.

TABLA XII
RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN BASÁNDOSE EN LA RELACIÓN W/C

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

Las proporciones requeridas de cemento, agua, arena y ripio fueron calculadas a partir de la producción de 1 metro cúbico de hormigón.

- Cantidad de Cemento (C)

$$C = \frac{CP}{\frac{W}{C} + \frac{1}{DRC}} \quad \textit{(Ec. 12)}$$

- Cantidad de Agua (W)

$$W = \frac{W}{C} * C \quad \textit{(Ec. 13)}$$

- Cantidad de Arena (A)

$$A = (100 - CP) * \frac{DRA * POA}{100} \quad \textit{(Ec. 14)}$$

- Cantidad de Ripio (R)

$$R = (100 - CP) * \frac{DRR * POA}{100} \quad \textit{(Ec. 15)}$$

- Dosificación al peso

$$\text{Dosificación (WCAR)} = \frac{\text{Cantidad de material (WARC) m3}}{\text{Cantidad de Cemento (C)}} \quad \textit{(Ec. 16)}$$

Para concluir, se llevó a cabo una rectificación por humedad tanto del agregado fino como del agregado grueso en base a las normativas NTE INEN 856 y 857, una vez calculado el contenido de humedad de los dos agregados.

$$A = \text{Peso} = \frac{100 + \%\text{ de humedad de la arena}}{100 + \%\text{ de absorción de la arena}} \quad \textit{(Ec. 17)}$$

$$R = \text{Peso} = \frac{100 + \%\text{ de humedad del ripio}}{100 + \%\text{ de absorción del ripio}} \quad \textit{(Ec. 18)}$$

De esta manera, se mantuvieron ciertas proporciones de la composición del concreto y por consiguiente, se determinó la cantidad necesaria total para el número de probetas deseadas. Previo a la mezcla, se determinó y corrigió el contenido de humedad de los agregados gruesos y finos, lo cual permitió la eficiente preparación de los materiales a utilizar en la fabricación de las vigas.

Una vez determinada la dosificación, se procedió a la elaboración de 9 cilindros, los cuales ayudaron a comprobar la resistencia inicial, media y máxima en rangos de 7, 14 y 28 días respectivamente; esto con la finalidad de hacer notar que la dosificación elaborada se basó respecto a los parámetros de resistencia especificados.



Fig. 11. Elaboración de las probetas patrón para la dosificación

Codificación de los cilindros.

Con el objetivo de clasificar cada uno de los cilindros a ensayar se procedió a codificarlos de la siguiente manera:

TABLA XIII
CODIFICACIÓN DE LOS CILINDROS

Probeta	Código	Detalle
1	CC-1	Primer cilindro ensayado a los 7 días de curado
2	CC-2	Segundo cilindro ensayado a los 7 días de curado
3	CC-3	Tercer cilindro ensayado a los 7 días de curado
4	CC-4	Primer cilindro ensayado a los 14 días de curado
5	CC-5	Segundo cilindro ensayado a los 14 días de curado
6	CC-6	Tercer cilindro ensayado a los 14 días de curado
7	CC-7	Primer cilindro ensayado a los 28 días de curado
8	CC-8	Segundo cilindro ensayado a los 28 días de curado
9	CC-9	Tercer cilindro ensayado a los 28 días de curado

c) Fabricación de las vigas definitivas:

Luego de obtener la respectiva dosificación adecuada en base a los parámetros de resistencia, se procedió a preparar las vigas definitivas. Para esta fase del proyecto, se comenzó por la fabricación de las vigas de hormigón armado convencionales, es decir, preparadas a partir de materiales comunes, las mismas que fueron examinadas en base a ensayos a los 7, 14 y 28 días de edad.



Fig. 12. Fundición de las vigas convencionales

Codificación de las vigas definitivas

A continuación se presenta la codificación referente a las vigas ensayadas con la finalidad de clasificar cada una de ellas:

TABLA XIV
CODIFICACIÓN DE LAS VIGAS DEFINITIVAS

Código	Detalle
VC-7	Viga con agregados naturales ensayada a los 7 días de curado
VC-14	Viga con agregados naturales ensayada a los 14 días de curado
VC-28	Viga con agregados naturales ensayada a los 28 días de curado
VRC5-7	Viga con agregado grueso reciclado en su totalidad y con el 5% de catalizador en reemplazo de la arena ensayada a los 7 días de curado
VRC5-14	Viga con agregado grueso reciclado en su totalidad y con el 5% de catalizador en reemplazo de la arena ensayada a los 14 días de curado
VRC5-28	Viga con agregado grueso reciclado en su totalidad y con el 5% de catalizador en reemplazo de la arena ensayada a los 28 días de curado
VRC0-7	Viga con agregado grueso reciclado en su totalidad y con el 10% de catalizador en reemplazo de la arena ensayada a los 7 días de curado
VRC0-14	Viga con agregado grueso reciclado en su totalidad y con el 10% de catalizador en reemplazo de la arena ensayada a los 14 días de curado
VRC0-28	Viga con agregado grueso reciclado en su totalidad y con el 10% de catalizador en reemplazo de la arena ensayada a los 28 días de curado

d) Propiedades del hormigón en estado fresco:

Trabajabilidad

La trabajabilidad del hormigón consiste en el rango de sencillez con el que se pueda trabajar con este, es decir, la comodidad para para trabajar, colocar y compactar fácilmente. En términos de parámetros de resistencia y durabilidad, esta propiedad es considerada indispensable dentro de la determinación de la calidad del hormigón. [28]

TABLA XV
TRABAJABILIDAD DEL HORMIGÓN

Trabajabilidad	**Detalle**	
Factores determinantes	Relación W/C:	Mayor agua, mayor trabajabilidad, menor resistencia
	Agregados:	Graduados y redondos mejoran la mezcla
	Clasificación:	Mayor temperatura, menor trabajabilidad
Clasificación	Trabajabilidad baja:	Estructuras masivas
	Trabajabilidad media:	Estructuras comunes en general
	Trabajabilidad alta:	Estructuras complejas y reforzadas

Es necesario determinar la trabajabilidad del hormigón, debido a que esta propiedad asegura la adecuada compactación del hormigón, asegurando la uniformidad de la mezcla. [28]

Consistencia

En la determinación de la consistencia del hormigón se optó por implementar la prueba de asentamiento especificada en la ASTM C 143. Para este método se empleó el conocido Cono de Abrams, el cual se lo llenó bajo 3 capas, las cuales fueron compactadas a partir de 25 golpes. De esta manera, la diferencia de alturas que existió entre la inicial y la final fue conocido como el asentamiento, el cual indicó el nivel de trabajo del hormigón.

TABLA XVI
RANGOS DE ASENTAMIENTO DEL HORMIGÓN EN ESTADO FRESCO

Clasificación	**Detalle**
Baja	1-2 pulgadas
Media	3-4 pulgadas
Alta	5-7 pulgadas

A partir de este método se garantizó la consistencia apropiada del hormigón.



Fig. 13. Compactación a partir de los 25 golpes

e) Curado del hormigón:

Una vez colocada la mezcla en el encofrado y habiendo transcurrido 24 horas desde su secado, se procedió a desprender los moldes de madera para posteriormente entrar en el proceso de curado. Para este procedimiento se utilizó “Antisol”, el cual es un aditivo de la marca Sika efectivo en este tipo de procesos; es así como una vez aplicado se procedió a forrar las vigas utilizando “Film Plástico”, de manera que estén protegidas al estar expuestas al ambiente.



Fig. 14. Desencofrado de las vigas a las 24 horas



Fig. 15. Curado de las vigas con Antisol y forrado con Film Plástico



Fig. 16. Sika Antisol



Fig. 17. Film Plástico

f) Ensayo de flexión de punto medio:

El propósito de ensayar las vigas de hormigón armado aplicando el ensayo de flexión de punto medio fue para determinar su resistencia a la flexión, la cual es indispensable dentro del diseño de estructuras de hormigón armado, así como su posterior evaluación. [29]

Este método se lo realizó mediante la utilización de la máquina de ensayo universal de la Universidad Técnica de Ambato. Para este proceso se colocaron 2 rodillos en la parte inferior y a 5 cm de las caras externas de cada columna y un rodillo más en la parte superior y céntrica

de las mismas. De esta manera, se aplicó una respectiva carga controlada con el objetivo de que la viga llegue a un punto de fallo. [29]



Fig. 18. Ensayo de viga a flexión en 3 puntos



Fig. 19. Carga intermedia para el ensayo de viga a flexión en 3 puntos

g) Módulo de rotura:

El módulo de rotura trata de la capacidad que tiene el hormigón de soportar fuerzas de flexión antes de romperse. De acuerdo a la norma ASTM C293/C293M, este ensayo se lo aplicó a las vigas de hormigón armado elaboradas, apoyadas en dos puntos de la zona inferior de la viga y recargadas con una carga central en la parte superior de la misma, como ya se lo había mencionado. [29]

A partir de este ensayo se logró conocer la carga máxima a la que una viga es capaz de soportar antes de su rotura y se determinó su importancia en la medición de la durabilidad y resistencia del hormigón. [29]

$$\mathrm{fr} = \frac{3\mathrm{PL}}{2\mathrm{bd}^2} \qquad \textit{(Ec. 19)}$$

Dónde:

fr = Resistencia a la flexión o módulo de ruptura.

P = Carga máxima aplicada justo antes de la falla de la viga.

L = Distancia entre los apoyos (luz de la viga).

B = Ancho de la viga.

H = Altura de la viga.

De igual manera se realiza la comprobación del 10% y 20% respecto al valor de f'c con el módulo de rotura.

- Límite Inferior:

$$\mathrm{fr\ min} = 0{,}10\ \mathrm{f'c} \qquad \textit{(Ec. 20)}$$

- Límite Superior:

$$\mathrm{fr\ max} = 0{,}20\ \mathrm{f'c} \qquad \textit{(Ec. 21)}$$

De esta manera, el módulo de rotura debe encontrarse dentro de los límites de los valores hallados:

$$0{,}10\ f'c < fr < 0{,}20\ f'c \qquad \textit{(Ec. 22)}$$

3) Fase III:

a) Análisis de resultados

Para establecer un análisis comparativo entre las diferentes vigas elaboradas se optó por elaborar probetas patrón, las cuales permitieron comprobar la dosificación deseada teniendo en cuenta un f'c de 280 Kg/cm2, las mismas que siguiendo los parámetros de diseño se ensayaron bajo compresión en los rangos de 7, 14 y 28 días de edad con la finalidad de comprobar si estas alcanzaron la resistencia esperada. De esta manera, al momento en que se confirmó que la dosificación cumplía con los resultados deseados, se prosiguió a la fabricación de las vigas definitivas, en este caso, las que contenían agregados convencionales y, las elaboradas a partir de agregado grueso reciclado en su totalidad y catalizador agotado de craqueo catalítico fluidizado.

Con la finalidad de visualizar de manera clara la diferencia existente entre cada una de las vigas elaboradas con los diferentes agregados utilizados, se procedió a tabular los datos obtenidos para de esta manera poder plasmarlos en gráficas que facilitaron la comprensión de los resultados en base a la resistencia a flexión a los 7, 14 y 28 días de edad. Este tipo de análisis proporcionó información importante para la interpretación de los resultados obtenidos.

III. CAPÍTULO III.- RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el presente capítulo se demostraron los resultados obtenidos a partir de los diferentes ensayos realizados en base a los cilindros de hormigón diseñados aplicando el catalizador de craqueo catalítico fluidizado, evaluando su resistencia a la flexión para un hormigón armado a los 28 días de curado.

1) Fase I:

a) Propiedades de los agregados

Análisis Granulométrico del Agregado Fino

TABLA XVII
RESULTADOS DEL ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DEL AGREGADO FINO

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

"EVALUACIÓN DE LA RESISTENCIA A FLEXIÓN DE VIGAS DE HORMIGÓN ARMADO PREPARADO CON AGREGADO GRUESO RECICLADO Y ADICIONANDO CATALIZADOR AGOTADO DE CRAQUEO CATALÍTICO FLUIDIZADO"

Análisis Granulométrico del Agregado Fino

Origen:			Las Viñas					
Fecha:			22 de Abril 2024					
Elaborado por:			Álvarez Martínez John Anderson					
Norma:			NTE INEN 696:2010 / ASTM C-136					
Muestra (gr):		600,10	**Pérdida de la muestra:**			0,20%		
Tamiz (pulgadas)	**Tamiz (mm)**	**Retenido Parcial (gr)**	**Retenido Acumulado (gr)**	**Porcentaje Retenido Parcial (%)**	**Porcentaje Retenido Acumulado (%)**	**Porcentaje que Pasa (%)**	**Límite Inferior (%) NTE INEN 872**	**Límite Superior (%) NTE INEN 872**
3/8"	9,50	2,85	2,85	0,47	0,47	99,53	99,53	100,00
No. 4	4,75	3,02	5,87	0,50	0,98	99,02	95,00	100,00
No. 8	2,36	100,80	106,67	16,80	17,78	82,22	80,00	100,00
No. 16	1,18	167,20	273,87	27,86	45,64	54,36	50,00	85,00
No. 30	0,60	123,02	396,89	20,50	66,14	33,86	25,00	60,00
No. 50	0,30	96,70	493,59	16,11	82,25	17,75	5,00	30,00
No. 100	0,15	62,30	555,89	10,38	92,63	7,37	0,00	10,00
No. 200	0,075	30,10	585,99	5,02	97,65	2,35	-	-
Bandeja		12,9	598,89	2,15	99,80	0,20	-	-
Módulo de Finura:						3,05		

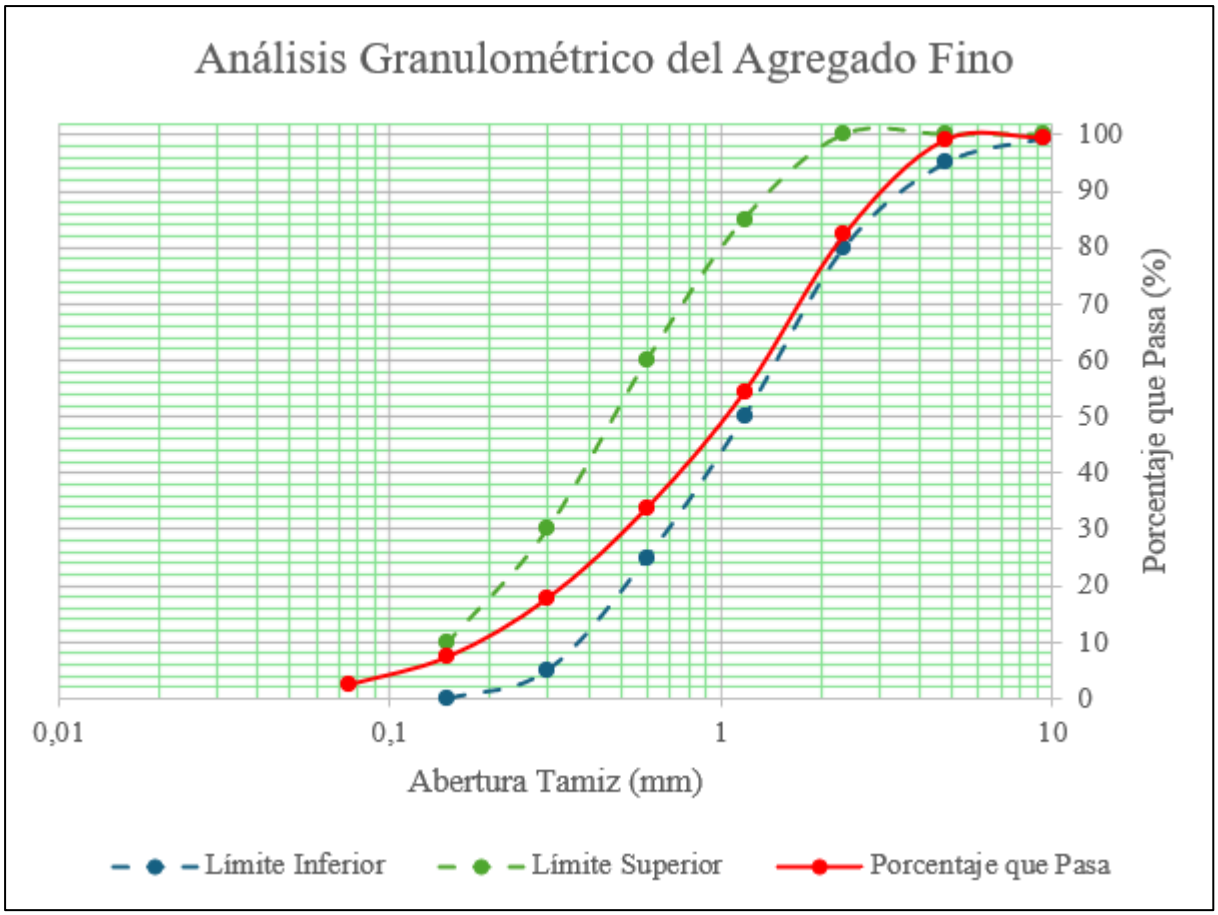


Fig. 20. Análisis granulométrico del agregado fino

A partir de los ensayos realizados con el agregado fino se logró afirmar que este árido es viable para la preparación de mezclas de hormigón, de modo que la norma establece que las partículas deben oscilar con un tamaño entre 2,3 y 3,1, obteniendo un valor de 3,05 el cual se encuentra dentro del rango.

Análisis Granulométrico del Agregado Grueso

TABLA XVIII
RESULTADOS DEL ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DEL AGREGADO GRUESO

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

"EVALUACIÓN DE LA RESISTENCIA A FLEXIÓN DE VIGAS DE HORMIGÓN ARMADO PREPARADO CON AGREGADO GRUESO RECICLADO Y ADICIONANDO CATALIZADOR AGOTADO DE CRAQUEO CATALÍTICO FLUIDIZADO"

Análisis Granulométrico del Agregado Grueso	
Origen:	Alvarado Ortiz
Fecha:	22 de Abril 2024
Elaborado por:	Álvarez Martínez John Anderson

Norma:		NTE INEN 696:2010 / ASTM C-136						
Muestra (gr):		5000,00		**Pérdida de la muestra:**		0,15%		
Tamiz (pulgadas)	**Tamiz (mm)**	**Retenido Parcial (gr)**	**Retenido Acumulado (gr)**	**Porcentaje Retenido Parcial (%)**	**Porcentaje Retenido Acumulado (%)**	**Porcentaje que Pasa (%)**	**Límite Inferior (%)NTE INEN 872**	**Límite Superior (%)NTE INEN 872**
1 1/2"	37,50	0,05	0,05	0,00	0,00	100,00	100,00	100,00
1"	25,00	820,01	820,06	16,40	16,40	83,60	90,00	100,00
3/4"	19,00	1563,00	2383,06	31,26	47,66	52,34	40,00	85,00
1/2"	12,50	1516,00	3899,06	30,32	77,98	22,02	10,00	40,00
3/8"	9,50	774,50	4673,56	15,49	93,47	6,53	0,00	15,00
No. 4	4,75	280,00	4953,56	5,60	99,07	0,93	0,00	5,00
Bandeja		39	4992,56	0,78	99,85	0,15	-	-
Tamaño Nominal Máximo:						1"		

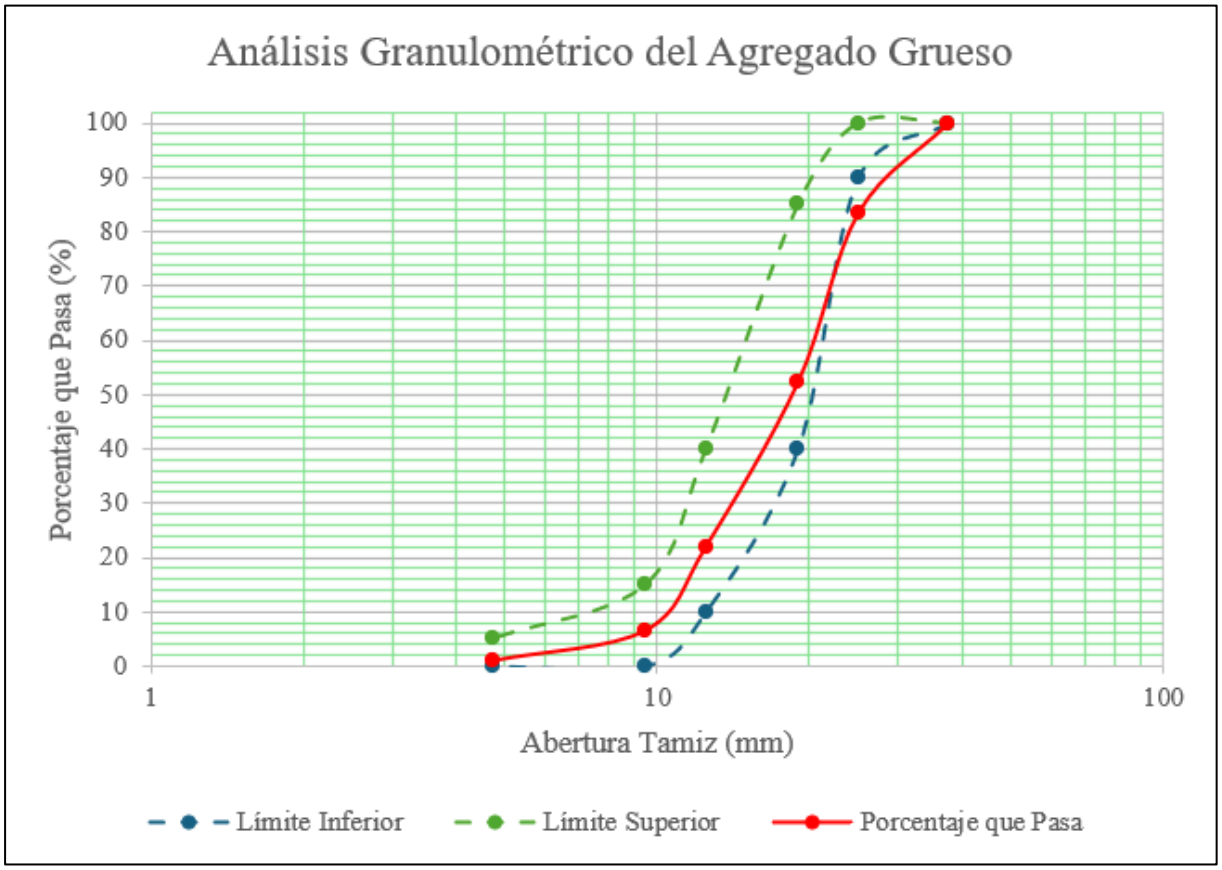


Fig. 21. Análisis granulométrico del agregado grueso

De igual manera, a partir de los ensayos realizados con el agregado grueso se pudo corroborar que este árido es viable para la preparación de mezclas de hormigón, de tal manera que dentro de la norma se establece que las partículas para este tipo de agregado deben oscilar con un tamaño comprendido entre 3/4” y 1 ½”, obteniendo un valor de 1” el cual se encuentra dentro del rango.

Análisis Granulométrico del Agregado Grueso Reciclado

TABLA XIX
RESULTADOS DEL ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DEL AGREGADO GRUESO RECICLADO

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

"EVALUACIÓN DE LA RESISTENCIA A FLEXIÓN DE VIGAS DE HORMIGÓN ARMADO PREPARADO CON AGREGADO GRUESO RECICLADO Y ADICIONANDO CATALIZADOR AGOTADO DE CRAQUEO CATALÍTICO FLUIDIZADO"

Análisis Granulométrico del Agregado Grueso Reciclado								
Origen:			Alvarado Ortiz					
Fecha:			22 de Abril 2024					
Elaborado por:			Álvarez Martínez John Anderson					
Norma:			NTE INEN 696:2010 / ASTM C-136					
Muestra (gr):		5000,00		**Pérdida de la muestra:**		0,05%		
Tamiz (pulgadas)	**Tamiz (mm)**	**Retenido Parcial (gr)**	**Retenido Acumulado (gr)**	**Porcentaje Retenido Parcial (%)**	**Porcentaje Retenido Acumulado (%)**	**Porcentaje que Pasa (%)**	**Límite Inferior (%)NTE INEN 872**	**Límite Superior (%)NTE INEN 872**
1 1/2"	37,50	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00	100,00	100,00
1"	25,00	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00	90,00	100,00
3/4"	19,00	1016,00	1016,00	20,32	20,32	79,68	40,00	85,00
1/2"	12,50	2496,00	3512,00	49,92	70,24	29,76	10,00	40,00
3/8"	9,50	1091,50	4603,50	21,83	92,07	7,93	0,00	15,00
No. 4	4,75	383,00	4986,50	7,66	99,73	0,27	0,00	5,00
Bandeja		11	4997,50	0,22	99,95	0,05	-	-
Tamaño Nominal Máximo:						1"		

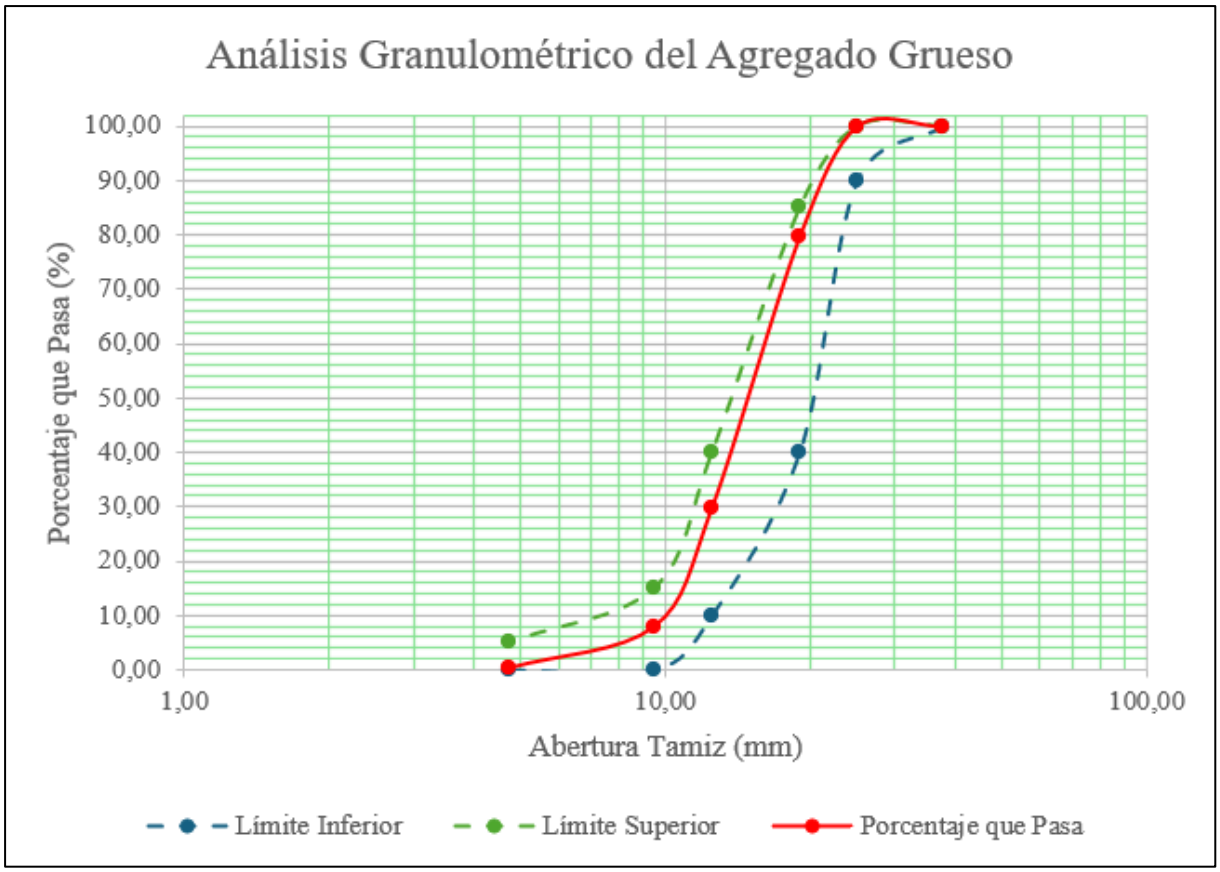


Fig. 22. Análisis granulométrico del agregado grueso reciclado

De esta manera, se pudo determinar que el agregado grueso reciclado, al igual que el agregado grueso convencional están bajo los parámetros granulométricos, lo hace que posible su respectiva utilización dentro de la mezcla. Como resultados se obtuvo que el tamaño nominal máximo de este tipo de agregado fue de 1", lo cual se encuentra dentro del rango aceptado que comprende entre 3/4" y 1 1/2"

El análisis de tamaño de partículas del agregado grueso reciclado concluyó que es adecuado para la mezcla de hormigón con remplazo del agregado grueso. Los resultados indicaron que la distribución de las partículas se encuentra dentro de los límites especificados por la norma ya que el tamaño nominal máximo obtenido fue de 1", encontrándose dentro del rango permitido de ¾ de pulgada a 1 ½ pulgadas.

Densidad Real y Capacidad de Absorción del Agregado Fino

TABLA XX
RESULTADOS DE LA DENSIDAD REAL DEL AGREGADO FINO

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

"EVALUACIÓN DE LA RESISTENCIA A FLEXIÓN DE VIGAS DE HORMIGÓN ARMADO PREPARADO CON AGREGADO GRUESO RECICLADO Y ADICIONANDO CATALIZADOR AGOTADO DE CRAQUEO CATALÍTICO FLUIDIZADO"

Densidad Real del Agregado Fino			
Origen:	Las Viñas		
Fecha:	22 de Abril 2024		
Elaborado por:	Álvarez Martínez John Anderson		
Norma:	NTE INEN 856:2010 /ASTM C-128		
Nomenclatura	**Descripción**	**Unidad**	**Valor**
m1	Masa del picnómetro	gr	153,40
m2	Masa del picnómetro + Muestra SSS	gr	653,40
m3	Masa del picnómetro + Muestra SSS + Agua	gr	963,20
m4 = m3 - m2	Masa de agua añadida	gr	309,80
m5	Masa del picnómetro + 500 cm3 de agua	gr	652,00
m6 = m5 - m1	Masa de 500 cm3 de agua	gr	498,60
DA = m6/500cm3	Densidad del agua	gr/cm3	0,997
m7 = m6 - m4	Masa del agua desalojada por la muestra	gr	188,80
Msss = m2 - m1	Masa del agregado	gr	500,00
Vsss = m7/DA	Volumen del agua desalojada	cm3	189,33
DRA = Msss/Vsss	Densidad real de la arena	gr/cm3	2,641

TABLA XXI
RESULTADOS DE LA CAPACIDAD DE ABSORCIÓN DE AGREGADO FINO

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

"EVALUACIÓN DE LA RESISTENCIA A FLEXIÓN DE VIGAS DE HORMIGÓN ARMADO PREPARADO CON AGREGADO GRUESO RECICLADO Y ADICIONANDO CATALIZADOR AGOTADO DE CRAQUEO CATALÍTICO FLUIDIZADO"

Capacidad de Absorción del Agregado Fino					
Origen:	Las Viñas				
Fecha:	22 de Abril 2024				
Elaborado por:	Álvarez Martínez John Anderson				
Norma:	NTE INEN 856:2010 /ASTM C-128				
Nomenclatura	**Descripción**	**Unidad**	**Valor**		
			Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3

m8	Masa del recipiente	gr	1,85	1,85	1,85
m9	Masa del recipiente + Muestra SSS	gr	123,80	123,20	123,70
m10 = m9 - m8	Masa de la muestra SSS	gr	121,95	121,35	121,85
m11	Masa del recipiente + Muestra seca	gr	120,81	120,93	121,85
m12 = m11 - m8	Masa de la muestra seca	gr	118,96	119,08	120,00
CA = ((m10-m12)/m12)*100	Capacidad de absorción	%	2,51	1,91	1,54
CAA = (CA1+CA2+CA3)/3	Capacidad de absorción promedio de la arena	%		1,99	

Con los resultados obtenidos a partir de la tabla del análisis de densidad del agregado fino se pudo interpretar que este posee una densidad de 2.641 gr/cm3. Así mismo, por medio de la tabla de la capacidad de absorción del agregado fino, se determinó que el agregado posee una capacidad de absorción del 1,99%, dónde dicho valor se encuentra dentro del rango de 0,2% y 2%, aceptados por la norma.

Densidad Real y Capacidad de Absorción del Agregado Grueso

TABLA XXII
RESULTADOS DE LA DENSIDAD REAL DEL AGREGADO GRUESO

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

"EVALUACIÓN DE LA RESISTENCIA A FLEXIÓN DE VIGAS DE HORMIGÓN ARMADO PREPARADO CON AGREGADO GRUESO RECICLADO Y ADICIONANDO CATALIZADOR AGOTADO DE CRAQUEO CATALÍTICO FLUIDIZADO"

Densidad Real del Agregado Grueso			
Origen:	Las Viñas		
Fecha:	22 de Abril 2024		
Elaborado por:	Álvarez Martínez John Anderson		
Norma:	NTE INEN 857:2010 /ASTM C-127		
Nomenclatura	**Descripción**	**Unidad**	**Valor**
m1	Masa de la canastilla en el aire	gr	1174,00
m2	Masa de la canastilla en el agua	gr	1019,50
m3	Masa de la canastilla + Muestra SSS en el aire	gr	4174,00
m4	Masa de la canastilla + Muestra SSS en el agua	gr	2702,80
DA	Densidad real del agua	gr/cm3	1,000
m5 = m3 - m1	Masa de la muestra SSS en el aire	gr	3000,00
m6 = m4 - m2	Masa de la muestra SSS en el agua	gr	1683,30
VR = (m5-m6)/DA	Volumen real de la muestra	cm3	1316,70
DRR = m5/VR	Densidad real del ripio	gr/cm3	2,278

TABLA XXIII
RESULTADOS DE LA CAPACIDAD DE ABSORCIÓN DEL AGREGADO GRUESO

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

"EVALUACIÓN DE LA RESISTENCIA A FLEXIÓN DE VIGAS DE HORMIGÓN ARMADO PREPARADO CON AGREGADO GRUESO RECICLADO Y ADICIONANDO CATALIZADOR AGOTADO DE CRAQUEO CATALÍTICO FLUIDIZADO"

Capacidad de Absorción del Agregado Grueso

Origen:	Las Viñas
Fecha:	22 de Abril 2024
Elaborado por:	Álvarez Martínez John Anderson
Norma:	NTE INEN 857:2010 /ASTM C-127

Nomenclatura	**Descripción**	**Unidad**	**Valor**	
			Muestra 1	Muestra 2
m7	Masa del recipiente	gr	1,85	1,85
m8	Masa del recipiente + Muestra SSS	gr	124,30	124,50
m9 = m8 - m7	Masa de la muestra SSS	gr	122,45	122,65
m10	Masa del recipiente + Muestra seca	gr	122,97	122,95
m11 = m10 - m7	Masa de la muestra seca	gr	121,12	121,10
CA = ((m9-m11)/m11)*100	Capacidad de absorción	%	1,10	1,28
CAR = (CA1+CA2)/2	Capacidad de absorción promedio del ripio	%	1,19	

Mediante los valores obtenidos por las tablas de resultados respecto al agregado grueso se logró determinar que dicho agregado posee una densidad real de 2.278 gr/cm3, con una capacidad de absorción de 1,19%, el cual se encuentra dentro del rango de 0,2% y 4% aceptado por la normativa.

Densidad del Cemento

TABLA XXIV
RESULTADOS DE LA DENSIDAD REAL DEL CEMENTO

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

"EVALUACIÓN DE LA RESISTENCIA A FLEXIÓN DE VIGAS DE HORMIGÓN ARMADO PREPARADO CON AGREGADO GRUESO RECICLADO Y ADICIONANDO CATALIZADOR AGOTADO DE CRAQUEO CATALÍTICO FLUIDIZADO"

Densidad Real del Cemento			
Origen:	Las Viñas		
Fecha:	24 de Abril 2024		
Elaborado por:	Álvarez Martínez John Anderson		
Norma:	NTE INEN 156 /ASTM C-188		
Nomenclatura	**Descripción**	**Unidad**	**Valor**
m1	Masa del picnómetro	**gr**	148,90
m2	Masa del picnómetro + Cemento	**gr**	212,90
m3	Masa del picnómetro + Cemento + Gasolina	**gr**	563,20
m4 = m3 - m2	Masa de gasolina añadida	**gr**	350,30
m5	Masa del picnómetro + 500 cm3 de gasolina	**gr**	517,10
m6 = m5 - m1	Masa de 500 cm3 de gasolina	**gr**	367,14
DG = m6/500cm3	Densidad de la gasolina	**gr/cm3**	0,734
m7 = m6 - m4	Masa de la gasolina desalojada por el cemento	**gr**	16,84
Mc = m2 - m1	Masa del cemento	**gr**	64,00
Vc = m7/DG	Volumen de gasolina desalojada	**cm3**	22,93
DRC = Msss/Vsss	Densidad real del cemento	**gr/cm3**	**2,79**

Por medio de este ensayo, el cemento utilizado, en este caso, el Portland “Chimborazo” tipo GU, presentó una densidad de 2,79 gr/cm3.

Densidad Aparente Suelta y Compactada del Agregado Fino

TABLA XXV
RESULTADOS DE LA DENSIDAD APARENTE SUELTA Y COMPACTADA DEL AGREGADO FINO

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

"EVALUACIÓN DE LA RESISTENCIA A FLEXIÓN DE VIGAS DE HORMIGÓN ARMADO PREPARADO CON AGREGADO GRUESO RECICLADO Y ADICIONANDO CATALIZADOR AGOTADO DE CRAQUEO CATALÍTICO FLUIDIZADO"

Densidad Aparente Suelta y Compactada del Agregado Fino				
Origen:	Las Viñas			
Fecha:	25 de Abril 2024			
Elaborado por:	Álvarez Martínez John Anderson			
Norma:	NTE INEN 803:2010 /ASTM C-29			
Descripción		**Unidad**	**Valor**	
Masa del recipiente:		Kg	10,17	
Altura del recipiente:		cm	28,50	
Diámetro del recipiente:		cm	30,00	
Volumen del recipiente:		dm3	20,15	
Densidad Aparente	**Agregado + Recipiente (Kg)**	**Agregado (Kg)**	**Densidad Aparente (Kg/dm3)**	**Densidad Aparente Promedio (Kg/dm3)**
Suelta	37,370	27,200	1,350	1,353
	37,480	27,310	1,356	
Compactada	41,620	31,450	1,561	1,555
	41,370	31,200	1,549	

El presente ensayo arrojó como resultado que el agregado fino obtuvo una densidad aparente suelta promedio de 1,353 Kg/dm3, así como una densidad aparente compactada de 1,555 Kg/dm3.

Densidad Aparente Suelta y Compactada del Agregado Grueso

TABLA XXVI
RESULTADOS DE LA DENSIDAD APARENTE SUELTA Y COMPACTADA DEL AGREGADO GRUESO

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

"EVALUACIÓN DE LA RESISTENCIA A FLEXIÓN DE VIGAS DE HORMIGÓN ARMADO PREPARADO CON AGREGADO GRUESO RECICLADO Y ADICIONANDO CATALIZADOR AGOTADO DE CRAQUEO CATALÍTICO FLUIDIZADO"

Densidad Aparente Suelta y Compactada del Agregado Grueso	
Origen:	Las Viñas
Fecha:	25 de Abril 2024
Elaborado por:	Álvarez Martínez John Anderson
Norma:	NTE INEN 803:2010 /ASTM C-29

Descripción	**Unidad**	**Valor**
Masa del recipiente:	Kg	10,17
Altura del recipiente:	cm	28,50
Diámetro del recipiente:	cm	30,00
Volumen del recipiente:	dm3	20,15

Densidad Aparente	**Agregado + Recipiente (Kg)**	**Agregado (Kg)**	**Densidad Aparente (Kg/dm3)**	**Densidad Aparente Promedio (Kg/dm3)**
Suelta	36,420	26,250	1,303	1,302
	36,380	26,210	1,301	
Compactada	39,400	29,230	1,451	1,470
	40,150	29,980	1,488	

De igual manera, este ensayo arrojó como resultado que el agregado grueso obtuvo una densidad aparente suelta promedio de 1,302 Kg/dm3, así como una densidad aparente compactada de 1,470 Kg/dm3.

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

TABLA XXVII
RESULTADOS DE LA DENSIDAD APARENTE SUELTA Y COMPACTADA DE LA MEZCLA

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

"EVALUACIÓN DE LA RESISTENCIA A FLEXIÓN DE VIGAS DE HORMIGÓN ARMADO PREPARADO CON AGREGADO GRUESO RECICLADO Y ADICIONANDO CATALIZADOR AGOTADO DE CRAQUEO CATALÍTICO FLUIDIZADO"

Densidad Aparente Compactada de la Mezcla

Origen:	Las Viñas				
Fecha:	25 de Abril 2024				
Elaborado por:	Álvarez Martínez John Anderson				
Norma:	NTE INEN 803:2010 /ASTM C-29				
Masa del recipiente:	10,14	Kg	*Diámetro del recipiente:*	30,00	cm
Altura del recipiente:	28,50	cm	*Volumen del recipiente:*	20,15	dm3

Porcentaje de Mezcla (%)		**Cantidad (Kg)**		**Agregado Fino Añadido (Kg)**	**Agregado + Recipiente (Kg)**	**Agregado (Kg)**	**Densidad Aparente Mezcla (Kg/dm3)**	**Densidad Aparente Promedio (Kg/dm3)**
A. Grueso	A. Fino	A. Grueso	A. Fino	A. Fino	Agregado Fino + Agregado Grueso			
100	0	40,00	0,00	0,00	39,480	29,340	1,456	1,473
					40,150	30,010	1,490	
90	10	40,00	4,44	4,44	42,950	32,810	1,629	1,627
					42,900	32,760	1,626	
80	20	40,00	10,00	5,56	44,730	34,590	1,717	1,765
					46,680	36,540	1,814	
70	30	40,00	17,14	7,14	47,730	37,590	1,866	1,869
					47,860	37,720	1,872	
60	40	40,00	26,67	9,52	48,940	38,800	1,926	1,918
					48,620	38,480	1,910	
50	50	40,00	40,00	13,33	48,700	38,560	1,914	1,911
					48,560	38,420	1,907	
40	60	40,00	60,00	20,00	49,750	39,610	1,966	1,905
					47,300	37,160	1,845	

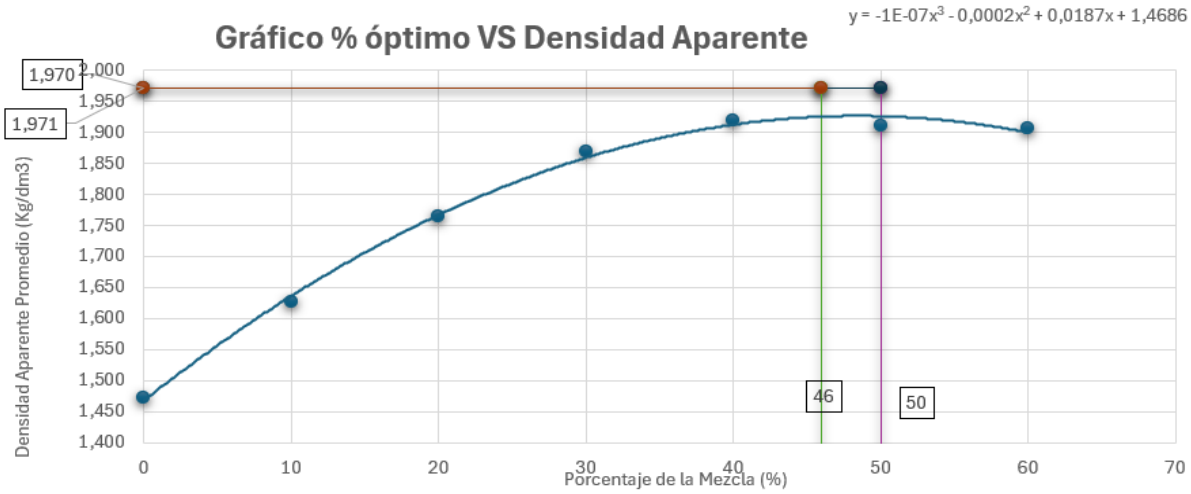


Fig. 23. Porcentaje óptimo VS Densidad aparente

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

Los resultados obtenidos por medio de la tabla de densidad aparente compactada de la mezcla, es decir, los agregados, determinó que los porcentajes óptimos del agregado fino y grueso fueron del 46% y 54% respectivamente. Tales valores se lograron obtener a partir de la gráfica “Porcentaje óptimo VS Densidad aparente” donde se determinaron la densidad aparente máxima y óptima de la combinación de agregados, que en este caso fue 1,970 Kg/dm3 y 1,971 Kg/dm3 respectivamente.

Contenido de Humedad del Agregado Fino y Grueso

TABLA XXVIII
RESULTADOS DEL CONTENIDO DE HUMEDAD DEL AGREGADO FINO

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL
"EVALUACIÓN DE LA RESISTENCIA A FLEXIÓN DE VIGAS DE HORMIGÓN ARMADO PREPARADO CON AGREGADO GRUESO RECICLADO Y ADICIONANDO CATALIZADOR AGOTADO DE CRAQUEO CATALÍTICO FLUIDIZADO"
Contenido de Humedad del Agregado Fino

Origen:	Las Viñas
Fecha:	26 de Abril 2024

Elaborado por:	Álvarez Martínez John Anderson				
Norma:	NTE INEN 862:2011 /ASTM C-566				
Nomenclatura	**Descripción**	**Unidad**	**Valor**		
			Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3
m1	Masa del recipiente	gr	1,85	1,85	1,85
m2	Masa del recipiente + Muestra	gr	124,30	124,80	124,20
m3 = m2 - m1	Masa de la muestra	gr	122,45	122,95	122,35
m4	Masa del recipiente + Muestra seca	gr	121,60	122,20	121,95
m5 = m4 - m1	Masa de la muestra seca	gr	119,75	120,35	120,10
CH	Contenido de Humedad	%	2,25	2,16	1,87
CHA	Contenido de Humedad promedio de la arena	%		2,10	

TABLA XXIX
RESULTADOS DEL CONTENIDO DE HUMEDAD DEL AGREGADO GRUESO

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

"EVALUACIÓN DE LA RESISTENCIA A FLEXIÓN DE VIGAS DE HORMIGÓN ARMADO PREPARADO CON AGREGADO GRUESO RECICLADO Y ADICIONANDO CATALIZADOR AGOTADO DE CRAQUEO CATALÍTICO FLUIDIZADO"

Contenido de Humedad del Agregado Grueso					
Origen:	Las Viñas				
Fecha:	26 de Abril 2024				
Elaborado por:	Álvarez Martínez John Anderson				
Norma:	NTE INEN 862:2011 /ASTM C-566				
Nomenclatura	**Descripción**	**Unidad**	**Valor**		
			Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3
m1	Masa del recipiente	gr	1,85	1,85	1,85
m2	Masa del recipiente + Muestra	gr	94,70	95,73	95,20
m3 = m2 - m1	Masa de la muestra	gr	92,85	93,88	93,35
m4	Masa del recipiente + Muestra seca	gr	92,20	92,80	91,75
m5 = m4 - m1	Masa de la muestra seca	gr	90,35	90,95	89,90
CH	Contenido de Humedad	%	2,77	3,22	3,84
CHR	Contenido de Humedad promedio del ripio	%		3,28	

Para este ensayo se utilizó un número de 3 muestras, de las cuales se obtuvo un promedio y se consiguió como resultado que el contenido de humedad promedio para el agregado fino y grueso son de 2,10% y 3,28% respectivamente.

Resumen de los Datos Obtenidos en los Ensayos

A continuación, se muestra una tabla resumen de todos los ensayos realizados, con el propósito de una mejor comprensión al momento de entrar en el proceso de dosificación.

TABLA XXX
RESUMEN DE LOS DATOS OBTENIDOS A PARTIR DE LOS ENSAYOS

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

"EVALUACIÓN DE LA RESISTENCIA A FLEXIÓN DE VIGAS DE HORMIGÓN ARMADO PREPARADO CON AGREGADO GRUESO RECICLADO Y ADICIONANDO CATALIZADOR AGOTADO DE CRAQUEO CATALÍTICO FLUIDIZADO"

Datos obtenidos a partir de los Ensayos			
Origen:	Las Viñas		
Fecha:	29 de Abril 2024		
Elaborado por:	Álvarez Martínez John Anderson		
Nomenclatura	**Descripción**	**Unidad**	**Valor**
DRC	Densidad real del cemento	Kg/dm3	2,791
DRA	Densidad real de la arena	Kg/dm3	2,641
DRR	Densidad real del ripio	Kg/dm3	2,278
DSA	Densidad aparente suelta de la arena	Kg/dm3	1,353
DSR	Densidad aparente suelta del ripio	Kg/dm3	1,302
DCA	Densidad aparente compactada de la arena	Kg/dm3	1,555
DCR	Densidad aparente compactada del ripio	Kg/dm3	1,470
POA	Porcentaje óptimo de la arena	%	46,000
POR	Porcentaje óptimo del ripio	%	54,000
DOM	Densidad óptima de la mezcla	Kg/dm3	1,971
CAA	Capacidad de absorción de la arena	%	1,99
CAR	Capacidad de absorción del ripio	%	1,19
CHA	Contenido de humedad de la arena	%	2,10
CHR	Contenido de humedad del ripio	%	3,28
MFA	Módulo de finura de la arena		3,054

2) Fase II:

a) Cálculo de la dosificación

Tal como se lo explicó en el Capítulo II, en lo que respecta a la metodología, se pretendió establecer cantidades adecuadas para los diferentes elementos que intervinieron en la elaboración de la mezcla, por lo que se implementó un método que consistió en la construcción de ecuaciones que sirvan para calcular de manera precisa la dosificación. Dicho procedimiento

es conocido como el método de densidades óptimas proporcionado por la Universidad Central del Ecuador.

TABLA XXXI
DOSIFICACIÓN DEL HORMIGÓN POR EL MÉTODO DE LA DENSIDAD ÓPTIMA

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

"EVALUACIÓN DE LA RESISTENCIA A FLEXIÓN DE VIGAS DE HORMIGÓN ARMADO PREPARADO CON AGREGADO GRUESO RECICLADO Y ADICIONANDO CATALIZADOR AGOTADO DE CRAQUEO CATALÍTICO FLUIDIZADO"

Dosificación del hormigón por el método de la densidad óptima

Origen:			Las Viñas		
Fecha:			29 de Abril 2024		
Elaborado por:			Álvarez Martínez John Anderson		
DATOS DE ENSAYOS			**DATOS DE TABLAS**		
f'c =	240	kg/cm2	W/C =	0,57	
Asentamiento	6 - 9	cm.	CP =	POV + 2% + 0.08POV	
DRC	2,791	Kg/dm3	Cálculos:		
DRA	2,641	Kg/dm3	DRM =	2,445	Kg/dm3
DRR	2,278	Kg/dm3	POV =	19,402	%
DSA	1,353	Kg/dm3	CP =	229,542	dm3
DSR	1,302	Kg/dm3	C=	258,393	kg
POA	46,000	%	W=	136,948	lts
POR	54,000	%	A=	935,960	kg
DOM	1,971	Kg/dm3	R=	947,932	kg

Dosificación al Peso

Material	**Cantidad de Kg por cada m3 de Hormigón**	**Dosificación al peso**	**Cantidad en (kg) por cada saco de cemento de 50kg**
W	136,948	0,530	26,500
C	258,393	1,000	50,000
A	935,960	3,622	181,112
R	947,932	3,669	183,429
TOTAL	2279,233	Kg/m3	

Nomenclatura

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

Se elaboraron un número de 9 probetas, las cuales son consideradas como patrón, con unas dimensiones de 20 cm de alto y 10 cm de diámetro, las mismas que fueron específicamente fabricadas para resistir 280 Kg/cm2.

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

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

"EVALUACIÓN DE LA RESISTENCIA A FLEXIÓN DE VIGAS DE HORMIGÓN ARMADO PREPARADO CON AGREGADO GRUESO RECICLADO Y ADICIONANDO CATALIZADOR AGOTADO DE CRAQUEO CATALÍTICO FLUIDIZADO"

Dosificación para el volumen necesario de los cilindros de hormigón

Fecha:			29 de Abril 2024		
Elaborado por:			Álvarez Martínez John Anderson		
Diámetro del cilindro	10	cm	Volumen de Hormigón necesario para cilindros (VCH)	0,05969	m3
Altura del cilindro	20	cm			
Número de cilindros	9				

Material	**Cantidad de Kg por cada m3 de Hormigón**	**Dosificación al peso**	**Dosificación de hormigón para cilindros**
W	136,948	0,530	8,174
C	258,393	1,000	15,424
A	935,960	3,622	55,868
R	947,932	3,669	56,582

TABLA XXXIII
CORRECCIÓN DE LA DOSIFICACIÓN POR HUMEDAD

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

"EVALUACIÓN DE LA RESISTENCIA A FLEXIÓN DE VIGAS DE HORMIGÓN ARMADO PREPARADO CON AGREGADO GRUESO RECICLADO Y ADICIONANDO CATALIZADOR AGOTADO DE CRAQUEO CATALÍTICO FLUIDIZADO"

Corrección de la dosificación por humedad

Fecha:			29 de Abril 2024					
Realizado por:			Álvarez Martínez John Anderson					
Material	**Dosificación al peso**	**Dosificación de hormigón para cilindros (Kg)**	**C. A (%)**	**C. H (%)**	**Corrección de Humedad**		**Cantidad Corregida Dosificación de hormigón para cilindros (Kg)**	**Corrección Dosificación al peso**
					%	**Kg**		
W	0,530	8,174	-	-	-	-1,241	6,933	0,450

C	1,000	15,424	-	-	-	-	15,424	1,000
A	3,622	55,868	1,987	2,096	-0,109	-0,061	55,929	3,626
R	3,669	56,582	1,189	3,275	-2,086	-1,181	57,763	3,745

Con los datos que se obtuvieron a partir de los ensayos de capacidad de absorción y contenido de humedad, se realizó una corrección basada en la disposición de las probetas, con la finalidad de conseguir resultados concluyentes que beneficien a la dosificación final del hormigón

TABLA XXXIV
RELACIÓN AGUA/CEMENTO SEGÚN SU RESISTENCIA A LOS 28 DÍAS DE EDAD

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

TABLA XXXV
DOSIFICACIÓN AL PESO UTILIZANDO EL MÉTODO DE DENSIDADES ÓPTIMAS

Material	**Cantidad de Kg por cada m3 de Hormigón**	**Dosificación al peso**
W	136,948	0,530
C	258,393	1,000
A	935,960	3,622
R	947,932	3,669
Densidad del hormigón	2279,233	Kg/m3

TABLA XXXVI
DOSIFICACIÓN BASADA EN LA CANTIDAD POR CADA SACO DE CEMENTO

Material	**Cantidad de Kg por cada m3 de Hormigón**	**Dosificación al peso**	**Cantidad por cada saco de cemento**	
W	136,948	0,530	26,500	Lt
C	258,393	1,000	50,000	Kg
A	935,960	3,622	181,112	Kg
R	947,932	3,669	183,429	Kg
TOTAL	2279,233	Kg/m3		

TABLA XXXVII
DOSIFICACIÓN DEFINITIVA PARA CADA VIGA 280 KG/CM2

Material	Cantidad de Kg por cada m3 de Hormigón	Dosificación al peso	Dosificación de hormigón para cilindros	Unidad	Dosificación para cada viga 280 kg/cm2	Unidad
W	136,948	0,530	0,2150	Lt	8,2169	Lt
C	258,393	1,000	0,4156	Kg	15,5036	Kg
A	935,960	3,622	1,4695	Kg	56,1576	Kg
R	947,932	3,669	1,4883	Kg	56,8759	Kg

De esta manera se ha determinado la dosificación necesaria para cada viga de hormigón de 280 Kg/cm2 de modo que las diferentes proporciones se encuentren dentro de los parámetros necesarios del trabajo experimental.

b) Resistencia a la compresión de cilindros f'c = 280 kg/cm2

- Resistencia a los 7 días

TABLA XXXVIII
RESISTENCIA DE LOS CILINDROS A LA COMPRESIÓN A LOS 7 DÍAS DE EDAD

Resistencia a la Compresión a los 7 días de edad						
Fecha:		8 de Mayo 2024				
Elaborado por:		Álvarez Martínez John Anderson				
N° de Probeta	**Resistencia**	**Peso (Kg)**	**Carga P (KN)**	**Carga P (Kg)**	**Esfuerzo de compresión (Kg/cm2)**	**Esfuerzo de compresión promedio**
CC-1	280 Kg/cm2	3,871	150,16	15311,82	194,96	195,49
CC-2		4,198	149,84	15279,18	194,54	
CC-3		4,345	151,72	15470,89	196,98	

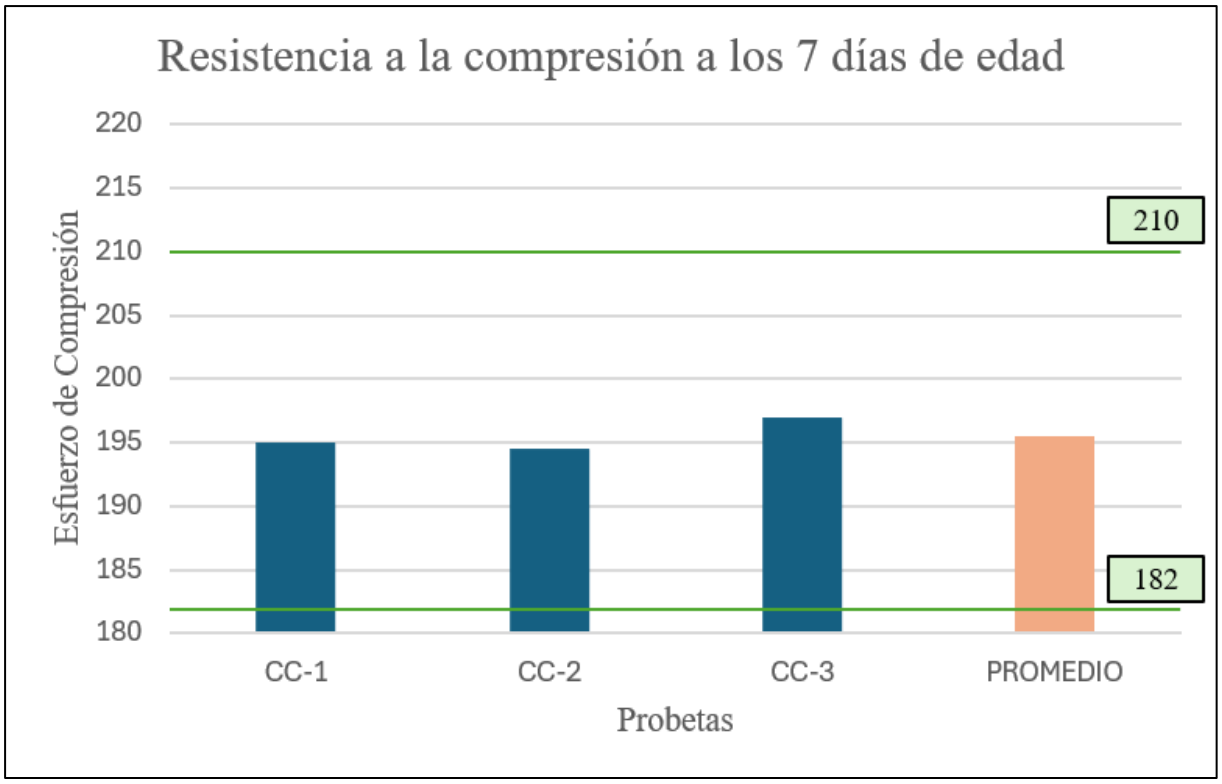


Fig. 24. Resistencia de los cilindros a la compresión a los 7 días de edad

De esta manera, se determinó que las probetas ensayadas por compresión, las mismas que se elaboraron a partir de una dosificación de 280 Kg/cm2, presentaron una resistencia promedio de 195,49 Kg/cm2. Así mismo no presentaron problemas por tener la resistencia dentro de los límites establecidos, los cuales se encontraron entre 182 y 210 Kg/cm2.

- Resistencia a los 14 días

TABLA XXXIX
RESISTENCIA DE LOS CILINDROS A LA COMPRESIÓN A LOS 14 DÍAS DE EDAD

Resistencia a la Compresión a los 14 días de edad						
Fecha:		8 de Mayo 2024				
Elaborado por:		Álvarez Martínez John Anderson				
N° de Probeta	**Resistencia**	**Peso (Kg)**	**Carga P (KN)**	**Carga P (Kg)**	**Esfuerzo de compresión (Kg/cm2)**	**Esfuerzo de compresión promedio**
CC-4	280 Kg/cm2	4,211	181,92	18550,38	236,19	234,34
CC-5		4,358	185,66	18931,75	241,05	
CC-6		4,232	173,91	17733,60	225,79	

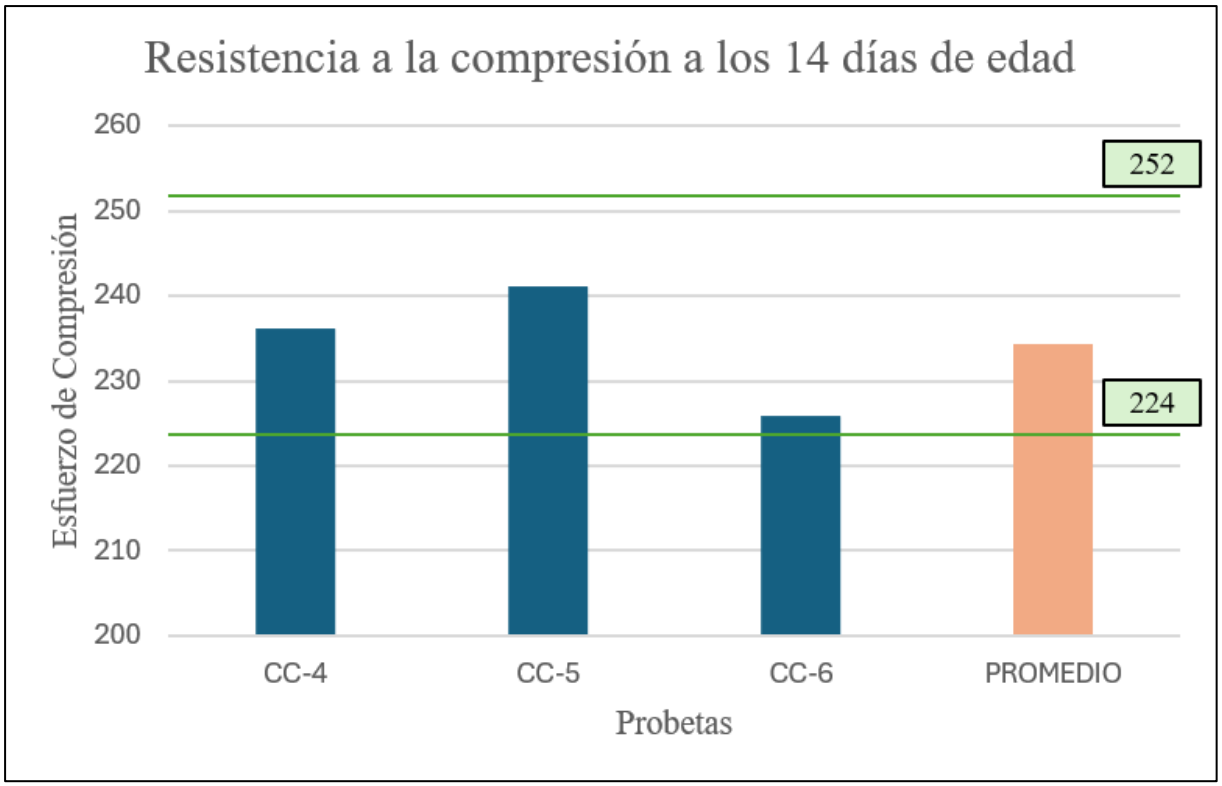


Fig. 25. Resistencia de los cilindros a la compresión a los 14 días de edad

Así mismo, se determinó que las probetas ensayadas por compresión para los 14 días de edad, elaboradas a partir de una dosificación de 280 Kg/cm2, presentaron una resistencia promedio de 234,34 Kg/cm2. Esta resistencia se encuentra dentro del rango permitido, entre 224 y 252 Kg/cm2 para un tiempo de curado de 14 días.

- Resistencia a los 28 días

TABLA XL
RESISTENCIA DE LOS CILINDROS A LA COMPRESIÓN A LOS 28 DÍAS DE EDAD

Resistencia a la Compresión a los 28 días de edad						
Fecha:			8 de Mayo 2024			
Elaborado por:			Álvarez Martínez John Anderson			
N° de Probeta	**Resistencia**	**Peso (Kg)**	**Carga P (KN)**	**Carga P (Kg)**	**Esfuerzo de compresión (Kg/cm2)**	**Esfuerzo de compresión promedio**
CC-7	280 Kg/cm2	4,322	207,84	21193,44	269,84	269,72
CC-8		4,208	209,92	21405,54	272,54	
CC-9		4,218	205,47	20951,78	266,77	

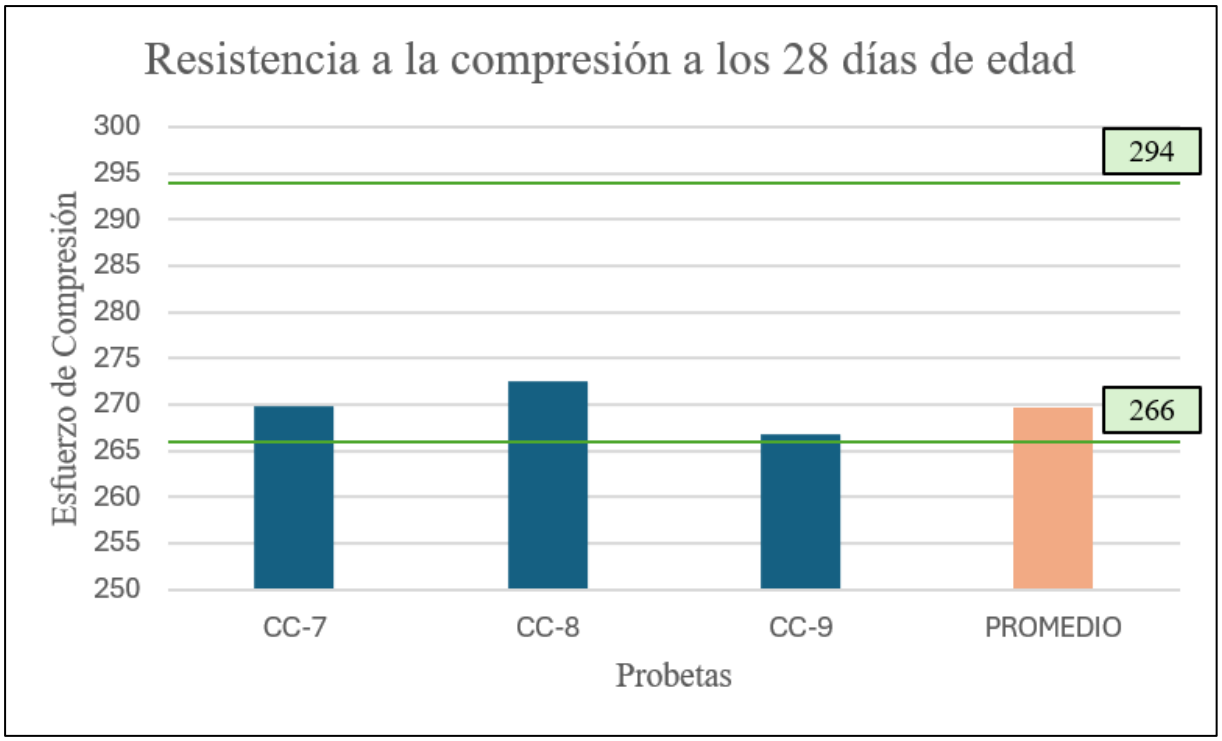


Fig. 26. Resistencia de los cilindros a la compresión a los 28 días de edad

Finalmente, para las probetas con una dosificación igual de 280 Kg/cm2 ensayadas a los 28 días, se obtuvo una resistencia promedio de 269,72 Kg/cm2, la cual al igual que las otras, estuvo dentro del rango establecido entre 266 y 294 Kg/cm2.

c) Armado de vigas

Se elaboró un prediseño, el cual cumplía con las cantidades mínimas de acero. A continuación se presentan las dimensiones y datos necesarios:

TABLA XLI
DATOS Y DIMENSIONES PARA EL ARMADO DE VIGAS

Dimensiones y datos	
L =	1,50 m
b =	20 cm
h =	20 cm
r =	2,50 cm
d =	17,50 cm
f'c =	240 Kg/cm2
fy =	4200 Kg/cm2

Acero mínimo

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

$$As_{min} = \frac{14}{4200\,\frac{Kg}{cm^2}}(20cm * 17{,}50cm)$$

$$As_{min} = 1{,}167$$

$$As\emptyset 12 = 1{,}131cm^2 = \mathbf{2\emptyset 12}$$

Acero de Refuerzo Transversal

El diámetro mínimo para este tipo de acero es de 10 mm.

Espaciamiento

$$S_1 = 4\ cm$$

$$S_2 = 8\ cm$$

d) Resistencia la flexión

A continuación se presenta los resultados obtenidos, tales como su evolución y cargas últimas a partir de los ensayos a flexión de las diferentes vigas en términos de 7, 14 y 28 días.

Ensayo a flexión de las vigas con agregados naturales

TABLA XLII
ENSAYO A FLEXIÓN DE VIGAS CONVENCIONALES

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO			
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA			
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL			
"EVALUACIÓN DE LA RESISTENCIA A FLEXIÓN DE VIGAS DE HORMIGÓN ARMADO PREPARADO CON AGREGADO GRUESO RECICLADO Y ADICIONANDO CATALIZADOR AGOTADO DE CRAQUEO CATALÍTICO FLUIDIZADO"			
Ensayo a Flexión de Vigas Convencionales			
Fecha:	4, 11 y 25 de junio de 2024		
Elaborado por:	Álvarez Martínez John Anderson		
VIGAS CON AGREGADO NATURAL			
DÍAS	7	14	28
Código	VC-7	VC-14	VC-28
Fuerza (KN)	35,3629	47,1505	55,4712
Desplazamiento (mm)	20,0035	19,3958	18,6615

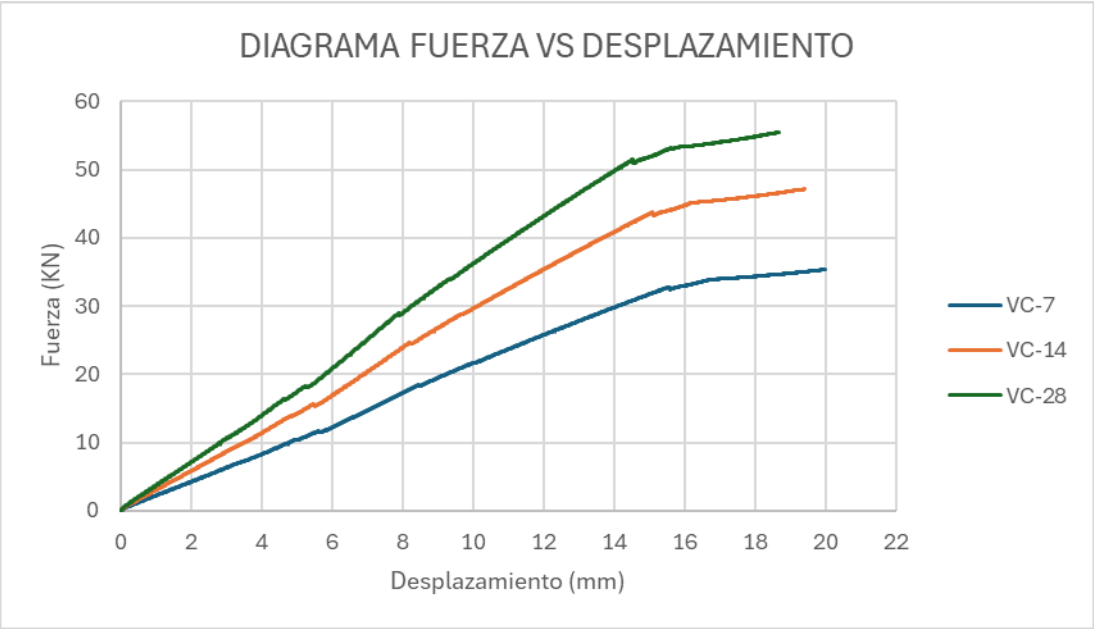


Fig. 27. Diagrama de fuerza VS desplazamiento para vigas convencionales

Ensayo a flexión de las vigas con agregado grueso reciclado y catalizador agotado de craqueo catalítico fluidizado en un 5%.

TABLA XLIII
ENSAYO A FLEXIÓN DE VIGAS CON AGREGADO GRUESO RECICLADO Y 5% DEL CATALIZADOR AGOTADO

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO			
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA			
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL			
"EVALUACIÓN DE LA RESISTENCIA A FLEXIÓN DE VIGAS DE HORMIGÓN ARMADO PREPARADO CON AGREGADO GRUESO RECICLADO Y ADICIONANDO CATALIZADOR AGOTADO DE CRAQUEO CATALÍTICO FLUIDIZADO"			
Ensayo a Flexión de Vigas con Agregado Grueso Reciclado y 5% del Catalizador Agotado de Craqueo Catalítico Fluidizado en reemplazo de la arena			
Fecha:	6, 13 y 27 de junio de 2024		
Elaborado por:	Álvarez Martínez John Anderson		
VIGAS CON AGREGADO RECICLADO			
DÍAS	7	14	28
Código	VRC5-7	VRC5-14	VRC5-28
Fuerza (KN)	42,8594	51,5016	57,2240
Desplazamiento (mm)	32,4934	40,0194	20,1599

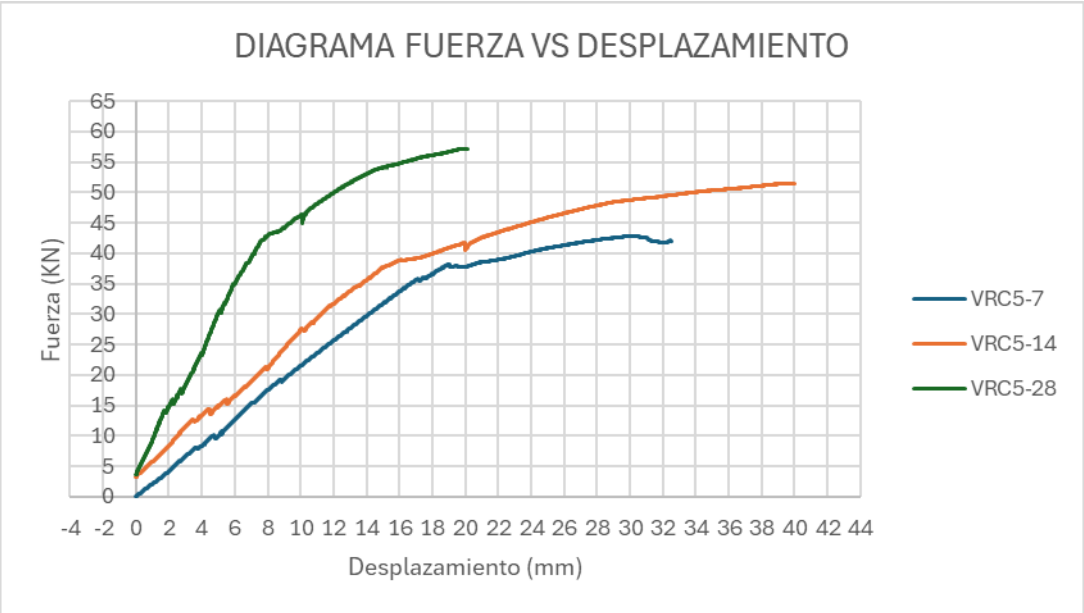


Fig. 28. Diagrama de fuerza VS desplazamiento para vigas con agregado grueso reciclado y 5% del catalizador agotado

Ensayo a flexión de las vigas con agregado grueso reciclado y catalizador agotado de craqueo catalítico fluidizado en un 10%

TABLA XLIV
ENSAYO A FLEXIÓN DE VIGAS CON AGREGADO GRUESO RECICLADO Y 10% DEL CATALIZADOR AGOTADO

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO			
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA			
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL			
"EVALUACIÓN DE LA RESISTENCIA A FLEXIÓN DE VIGAS DE HORMIGÓN ARMADO PREPARADO CON AGREGADO GRUESO RECICLADO Y ADICIONANDO CATALIZADOR AGOTADO DE CRAQUEO CATALÍTICO FLUIDIZADO"			
Ensayo a Flexión de Vigas con Agregado Grueso Reciclado y 10% del Catalizador Agotado de Craqueo Catalítico Fluidizado en reemplazo de la arena			
Fecha:	6, 13 y 27 de junio de 2024		
Elaborado por:	Álvarez Martínez John Anderson		
VIGAS CON AGREGADO RECICLADO			
DÍAS	7	14	28
Código	VRC0-7	VRC0-14	VRC0-28
Fuerza (KN)	43,1439	45,9115	51,0127
Desplazamiento (mm)	32,4949	57,9496	36,7173

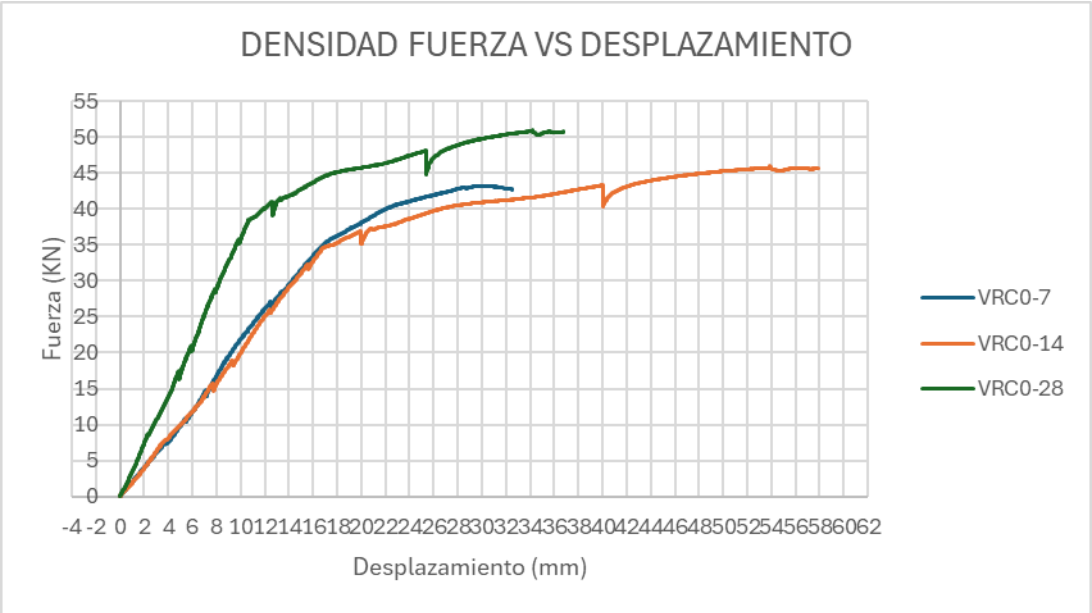


Fig. 29. Diagrama de fuerza VS desplazamiento para vigas con agregado grueso reciclado y 10% del catalizador agotado

Una vez hecho el análisis de las tablas y gráficos de resultados producto de los ensayos a flexión, se pudo determinar que las vigas de hormigón armado elaboradas mediante agregado grueso reciclado e incorporando 5% de catalizador agotado de craqueo catalítico fluidizado en reemplazo de la arena, tienen una mejor capacidad de carga a comparación de las vigas elaboradas a partir de materiales convencionales y con el 10% del catalizador.

Módulo de rotura de vigas con agregados naturales

TABLA XLV
MÓDULO DE ROTURA DE VIGAS CONVENCIONALES

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO			
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA			
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL			
"EVALUACIÓN DE LA RESISTENCIA A FLEXIÓN DE VIGAS DE HORMIGÓN ARMADO PREPARADO CON AGREGADO GRUESO RECICLADO Y ADICIONANDO CATALIZADOR AGOTADO DE CRAQUEO CATALÍTICO FLUIDIZADO"			
Módulo de rotura de vigas convencionales			
Fecha:	4, 11 y 25 de junio de 2024		
Elaborado por:	Álvarez Martínez John Anderson		
VIGAS CON AGREGADO NATURAL			
DÍAS	7	14	28
Código	VC-7	VC-14	VC-28
Fuerza (KN)	35,3629	47,1505	55,4712
Módulo de Rotura (MPa)	9,2828	12,3770	14,5612

- Comprobación del módulo de rotura.

$$0{,}10\ f'c < fr < 0{,}20\ f'c$$

$$0{,}10 * 280\ Kg/cm^2 < 14{,}56\ MPa < 0{,}20 * 280\ Kg/cm^2$$

$$2{,}75\ MPa < 14{,}56\ MPa < 56\ MPa$$

Módulo de rotura de vigas con agregado grueso reciclado y 5% del catalizador agotado de craqueo catalítico fluidizado en reemplazo de la arena

TABLA XLVI
MÓDULO DE ROTURA DE VIGAS CON AGREGADO GRUESO RECICLADO Y 5% DEL CATALIZADOR AGOTADO

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO			
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA			
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL			
"EVALUACIÓN DE LA RESISTENCIA A FLEXIÓN DE VIGAS DE HORMIGÓN ARMADO PREPARADO CON AGREGADO GRUESO RECICLADO Y ADICIONANDO CATALIZADOR AGOTADO DE CRAQUEO CATALÍTICO FLUIDIZADO"			
Módulo de rotura de Vigas con Agregado Grueso Reciclado y 5% del Catalizador Agotado de Craqueo Catalítico Fluidizado en reemplazo de la arena			
Fecha:	6, 13 y 27 de junio de 2024		
Elaborado por:	Álvarez Martínez John Anderson		
VIGAS CON AGREGADO RECICLADO			
DÍAS	7	14	28
Código	VRC5-7	VRC5-14	VRC5-28
Fuerza (KN)	42,8594	51,5016	57,2240
Módulo de Rotura (MPa)	11,2506	13,5192	15,0213

- Comprobación del módulo de rotura.

$$0{,}10\ f'c < fr < 0{,}20\ f'c$$

$$0{,}10 * 280\ Kg/cm^2 < 15{,}02\ MPa < 0{,}20 * 280\ Kg/cm^2$$

$$2{,}75\ MPa < 15{,}02\ MPa < 56\ MPa$$

Módulo de rotura de vigas con agregado grueso reciclado y 10% del catalizador agotado de craqueo catalítico fluidizado en reemplazo de la arena

TABLA XLVII
MÓDULO DE ROTURA DE VIGAS CON AGREGADO GRUESO RECICLADO Y 5% DEL CATALIZADOR AGOTADO

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO			
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA			
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL			
"EVALUACIÓN DE LA RESISTENCIA A FLEXIÓN DE VIGAS DE HORMIGÓN ARMADO PREPARADO CON AGREGADO GRUESO RECICLADO Y ADICIONANDO CATALIZADOR AGOTADO DE CRAQUEO CATALÍTICO FLUIDIZADO"			
Módulo de rotura de Vigas con Agregado Grueso Reciclado y 10% del Catalizador Agotado de Craqueo Catalítico Fluidizado en reemplazo de la arena			
Fecha:	6, 13 y 27 de junio de 2024		
Elaborado por:	Álvarez Martínez John Anderson		
VIGAS CON AGREGADO RECICLADO			
DÍAS	7	14	28
Código	VRC0-7	VRC0-14	VRC0-28
Fuerza (KN)	43,1439	45,9115	51,0127
Módulo de Rotura (MPa)	11,3253	12,0518	13,3908

- Comprobación del módulo de rotura.

$$0{,}10\ f'c < fr < 0{,}20\ f'c$$

$$0{,}10 * 280\frac{Kg}{cm^2} < 13{,}39\ MPa < 0{,}20 * 280 Kg/cm^2$$

$$2{,}75\ MPa < 13{,}39\ MPa < 56\ MPa$$

3) Fase III:

a) Comparación de resultados

Una vez hallados los valores de fuerza, desplazamiento y módulo de rotura para cada una de las vigas, se detallaron los resultados en una tabla comparativa:

TABLA XLVIII
COMPARACIÓN DE RESULTADOS

Vigas	Fuerza (KN)	Desplazamiento (mm)	Módulo de rotura (MPa)
VC-28	55,4712	18,6615	14,5612
VRC5-28	57,224	20,1599	15,0213
VRC0-28	51,0127	36,7173	13,3908

A. Discusión

Los ensayos a flexión realizados tanto en las vigas de hormigón armado elaboradas mediante agregados naturales, como con la presencia de agregado grueso reciclado en su totalidad y catalizador agotado de craqueo catalítico fluidizado determinaron una diferencia notoria dentro de los resultados de los ensayos.

De esta manera, se determinó que aquellas vigas que contenían en su dosificación agregados naturales resistieron una carga máxima de 55,47 KN. Por otro lado, aquellas vigas elaboradas con los agregados reemplazantes presentaron cargas máximas de 57,22 y 51,01 KN con porcentajes del 5 y 10% del catalizador, respectivamente. Así mismo, con respecto al módulo de rotura obtenido a partir del ensayo de las vigas, se logró establecer una rotura máxima de 14,56 MPa para las vigas convencionales, así como una rotura de 15,02 y 13,39 MPa para las vigas con presencia del catalizador en un 5 y 10%, de manera respectiva. De este modo, se interpretó que las vigas fabricadas con el 5% del catalizador y agregado grueso reciclado en su totalidad proporcionan una estructura interna más fuerte y cohesiva.

Ahora bien, centrándose en el desplazamiento producido en cada uno de los ensayos de flexión se determinó que por parte de las vigas a base de agregados naturales se produjo un desplazamiento máximo de 18,66 mm, a diferencia de los 20,16 y 36,72 mm de desplazamientos máximos producidos por las vigas que contenían agregado grueso reciclado en su totalidad y el catalizador en porcentajes del 5 y 10% respectivamente. Es así como se llegó a deducir que aquellas vigas que presentaron un desplazamiento más elevado fueron las vigas con los agregados reemplazantes.

De manera general, en base a las tablas y resultados obtenidos por medio de los ensayos, se pudo determinar que el tipo de agregado que se pretenda utilizar en la dosificación del hormigón influye de manera relevante en el comportamiento estructural. Por ejemplo, las vigas con la presencia del agregado grueso reciclado en tu totalidad y el catalizador en un 5% en reemplazo de la arena presentaron capacidades de carga mayores, así como una diferencia notoria en su desplazamiento y su módulo de rompimiento, sobre todo en los primeros 7 días de curado. Estos resultados son considerados muy importantes especialmente en investigaciones futuras donde se busque la implementación de agregados similares con el propósito de llegar al desempeño estructural ideal.

IV. CAPÍTULO IV. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

A. Conclusiones

- Los ensayos empleados en la determinación de las propiedades físicas y mecánicas de los agregados dentro del presente trabajo experimental cumplieron bajo las normativas vigentes de la INEN y ASTM, garantizando su correcta utilización dentro de los procesos de construcción.
- Se determinó tanto la densidad como la capacidad de absorción de los agregados finos naturales, para la arena, se presentó una densidad real de 2.641 y una absorción porcentual del 2,24%, mientras que para el ripio o también llamado agregado grueso natural, se obtuvieron valores de 2,278 para su densidad real y un porcentaje de 1,19% para su absorción. Para lo que respecta a los agregados reemplazantes, en esta ocasión al agregado grueso reciclado y el catalizador agotado de craqueo catalítico fluidizado, se estableció que ambos presentaron problemas durante el ensayo de granulometría, por motivos de poseer partículas más finas, a comparación de los convencionales. Sin embargo, tanto el agregado reciclado como el convencional cumplieron con las normativas vigentes.
- Se concluyó que las vigas elaboradas a partir del agregado grueso reciclado en su totalidad y el catalizador agotado en un 5% obtuvieron rangos más elevados a comparación de su resistencia con las vigas fabricadas convencionalmente y las que contenían un 10% de catalizador, de modo que las vigas hechas con el 5% del catalizador presentaron cargas máximas de 57,22 KN dejando a las vigas de hormigón convencional con una máxima de 55,47 KN y a las vigas con un 10% del catalizador con una carga máxima de 51,01 KN. Por otro lado, el módulo de rotura de las vigas elaboradas con el 5% del catalizador también fue superior a comparación de las vigas convencionales y las vigas con el 10% del agregado fino reemplazante, presentando un máximo de rotura de 15,02 MPa respecto a las vigas convencionales y las vigas con el 10% del catalizador.
- Las vigas elaboradas con el 10% del catalizador obtuvieron valores más elevados de desplazamiento máximo de 36,72 mm a comparación de las vigas convencionales y las vigas con un reemplazo del 5% del catalizador, obteniendo desplazamientos de 18,66 y 20,16 mm respectivamente.
- Como conclusión se determinó que las vigas elaboradas con una dosificación de 280 Kg/cm2 a partir de agregado grueso reciclado y adicionando el 5% del catalizador agotado de craqueo catalítico fluidizado fueron superior en los parámetros de fuerza, mientras que las vigas con un 10% del catalizador presentaron valores mayores de desplazamiento.

B. Recomendaciones

- Se recomienda llevar a cabo estudios a largo plazo para evaluar el comportamiento de las vigas de hormigón armado con agregado grueso reciclado y catalizador agotado bajo diferentes condiciones ambientales. Esto con el fin de validar la durabilidad y la resistencia a flexión de los materiales.
- Investigar y optimizar las cantidades de agregado grueso reciclado y catalizador agotado en la mezcla del hormigón para de este modo lograr un equilibrio óptimo con la resistencia a flexión.
- Desarrollar normativas y guías técnicas específicas para el uso de agregado grueso reciclado y catalizador agotado en la fabricación de hormigones armados. Estas directrices asegurarán la calidad y seguridad de las estructuras construidas con estos materiales.
- Fomentar la capacitación y formación continua de ingenieros y profesionales de la construcción en el uso de materiales reciclados, así como subproductos industriales. De modo que se asegure una correcta aplicación y manejo de estos materiales en proyectos de construcción.
- Estimular la colaboración entre universidades y la industria de la construcción para llevar a cabo nuevas aplicaciones y mejorar las técnicas existentes relacionadas con el uso de agregado grueso reciclado y catalizador agotado.

V. MATERIALES DE REFERENCIA

BIBLIOGRAFÍA

[1] S. Muñoz, J. Burga, R. Cordova, J. Castro, K. Bonilla, y S. Ramos, “Uso del aditivo mineral como modificador de las propiedades mecánicas en el concreto: una revisión”, *Métodos & Materiales*, vol. 11, pp. 9–19, dic. 2021.

[2] J. Vásquez, Á. Vélez, y W. Ruiz, “Elaboración de hormigón de resistencia de 21 MPa empleando agregado grueso reciclado”, *Polo del Conocimiento*, vol. 7, núm. 12, pp. 528–540, dic. 2022.

[3] M. García de Lomas, “VIABILIDAD CIENTÍFICA, TÉCNICA Y MEDIOAMBIENTAL DEL CATALIZADOR GASTADO DE CRAQUEO CATALÍCO (FCC) COMO MATERIAL PUZOLÁNICO”, Universidad Autónoma de Madrid, Madrid, 2015.

[4] A. Barrera, D. Endana, E. De la Torre, y E. Manangón, “Recuperación de Níquel, Vanadio y Molibdeno del Catalizador Agotado de la Unidad de Craqueo Catalítico Fluidizado (FCC)”, *Revista Politécnica*, vol. 36, núm. 2, pp. 1–8, sep. 2015.

[5] D. Suárez, K. Coral, y W. Gallegos, “Estratégias de gestión ambiental para el manejo y disposición final del catalizador gastado de la Unidad de Craqueo Catalítico Fluidizado (FCC) generado en una refinería estatal de Ecuador”, *INNOVA Research Journal*, vol. 2, núm. 5, pp. 28–44, abr. 2017.

[6] D. Robles, “Experiencias de gestión ambiental para el manejo y disposición final de catalizadores gastados en refinerías de petróleo en América Latina”, *Revista del Grupo de Investigación en Comunidad y Salud*, vol. 7, núm. 4, pp. 228–243, nov. 2022.

[7] J. Payá, J. M. Monzó, y M. V. Borrachero, “Fluid catalytic cracking catalyst residue (FC3R): An excellent mineral by-product for improving early-strength development of cement mixtures”, *Cem Concr Res*, vol. 22, núm. 11, pp. 1773–1779, nov. 1999.

[8] A. Strubinger, F. Morales, y K. Aponte, “RIESGO AMBIENTAL Y USO DE CATALIZADOR GASTADO DE FCC EN MEZCLAS DE MORTEROS”, *Revista de la Facultad de Ingeniería U.C.V*, vol. 29, núm. 4, pp. 93–106, jul. 2014.

[9] H. Gurdián, P. Garcés, E. Zornoza, y E. García Alcocel, “Comportamiento de hormigones con adiciones puzolánicas y árido reciclado”, *ALCONPAT*, vol. 11, núm. 3, pp. 17–30, sep. 2021.

[10] L. Morales, F. Alvansazyazdi, P. Landázuri, y W. Vásconez, “Prevención de la contaminación por la fabricación de hormigones con nanopartículas”, *Revista Ibérica de Sistemas e Tecnologías de Informação*, vol. 30, pp. 297–312, mar. 2020.

[11] M. I. Cabrera, “Utilización de los concretos de alta resistencia y concretos celulares en la industria de la construcción ecuatoriana, clasificados por sectores: vivienda, electricidad, gas/petróleo, salud y educación”, *Revista INGENIO*, vol. 1, núm. 1, pp. 15–30, ago. 2018.

[12] E. Simbaña y A. Jiménez, “REDISTRIBUCIÓN DE LAS MÁQUINAS HERRAMIENTAS E INSTALACIONES DEL TALLER DE MECÁNICA ROTATIVA DE LA REFINERÍA ESMERALDAS”, Escuela Politécnica Nacional, Quito, 2012.

[13] C. Azadobay y A. Tapia, “TRATAMIENTO PREVIO PARA LA DISPOSICIÓN DEL CATALIZADOR USADO PROVENIENTE DE LA UNIDAD DE FCC DE LA REFINERÍA ESTATAL DE ESMERALDAS (REE)”, Escuela Superior Politécnica del Litoral, Guayaquil, 2016.

[14] Instituto Ecuatoriano de Normalización, “Agregados. Determinación de la composición granulométrica”, Quito, 2010.

[15] ASTM International, “Standard Test Method for Sieve Analysis of Fine and Coarse Aggregates”, West Conshohocken, 2014.

[16] Instituto Ecuatoriano de Normalización, “Agregados. Determinación del contenido de humedad”, Quito, 2011.

[17] ASTM International, “Standard Test Method for Total Evaporable Moisture Content of Aggregate by Drying”, West Conshohocken, 2013.

[18] Instituto Ecuatoriano de Normalización, “Agregados. Determinación de la densidad, densidad relativa (gravedad específica) y absorción de los agregados gruesos”, Quito, 2010.

[19] ASTM International, “Standard Test Method for Relative Density (Specific Gravity) and Absorption of Coarse Aggregate”, West Conshohocken, 2015.

[20] Instituto Ecuatoriano de Normalización, “Agregados. Determinación de la densidad y absorción de los agregados finos”, Quito, 2010.

[21] ASTM International, “Standard Test Method for Relative Density (Specific Gravity) and Absorption of Fine Aggregate”, West Conshohocken, 2012.

[22] Instituto Ecuatoriano de Normalización, “Cementos. Requisitos”, Quito, 2005.

[23] ASTM International, “Standard Test Method for Density of Hydraulic Cement”, West Conshohocken, 2017.

[24] Instituto Ecuatoriano de Normalización, “Agregados. Métodos de ensayo”, Quito, 1998.

[25] ASTM International, “Standard Test Method for Bulk Density (‘Unit Weight’) and Voids in Aggregate”, West Conshohocken, 2017.

[26] American Concrete Institute, “Requisitos de Reglamento para Concreto Estructural (ACI 318-19)”, Farmington Hills, 2019.

[27] M. E. Coro Paillacho, “DETERMINACIÓN DEL MÓDULO DE ROTURA EN VIGAS DE HORMIGÓN, FABRICADO CON MATERIALES PROCEDENTES DE LA CANTERA SAN ROQUE, PARA f´c = 28 MPa.”, Universidad Central del Ecuador, Quito, 2014.

[28] American Concrete Institute (ACI), “Terminología del cemento y el hormigón”, Farmington Hills, 1990.

[29] ASTM International, “Standard Test Method for Flexural Strength of Concrete (Using Simple Beam with Third-Point Loading)”, West Conshohocken, 2023.

ANEXOS



Obtención de elementos de hormigón desechados



Embarcación de los sacos de elementos de hormigón desechados



Materiales dejados en el Laboratorio de la Universidad Técnica de Ambato



Transporte de elementos desechados de hormigón hacia la trituradora



Lugar de trituración



Bandeja con el agregado fino para ensayo



Bandeja de secado para el agregado fino



Cemento Portland



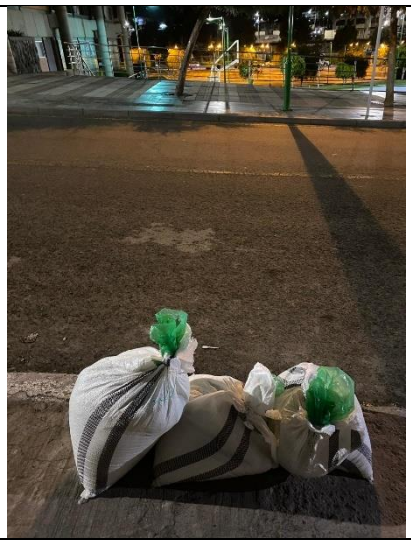
Aplicación del Antisol a las vigas



Llegada a la Refinería Estatal de Esmeraldas



Pesado de los materiales



Llegada a Ambato con los sacos de FCC



Medición del asentamiento de la mezcla



Encendido del motor del vibrador



Viga preparada para empezar el proceso de curado



Preparación del Antisol



Traspaso de la viga a la máquina de ensayo de flexión



Obtención de resultados