



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:

**“RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN SIMPLE
FABRICADO CON AGREGADO FINO PROVENIENTE DE HORMIGONES
RECICLADOS.”**

AUTOR: Bryan Paúl Salinas Freire

TUTORA: Ing. Lourdes Gabriela Peñafiel Valla, Mg.

AMBATO - ECUADOR

Febrero - 2024

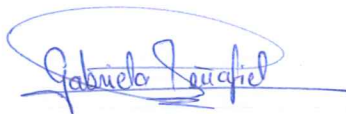
APROBACIÓN DEL TUTOR

En mi calidad de Tutora del Trabajo Experimental, para la obtención del Título de Ingeniero Civil, con el tema: **“RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN SIMPLE FABRICADO CON AGREGADO FINO PROVENIENTE DE HORMIGONES RECICLADOS”**, elaborado por el Sr. Bryan Paúl Salinas Freire, portador de la cédula de ciudadanía: C.I. 1805433289, 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, febrero 2024



Ing. Lourdes Gabriela Peñañiel Valla, Mg.

TUTORA

AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Bryan Paúl Salinas Freire con C.I. 1805433289, declaro que todos los contenidos y actividades expuestos en el presente Trabajo Experimental con el tema: **“RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN SIMPLE FABRICADO CON AGREGADO FINO PROVENIENTE DE HORMIGONES RECICLADOS”**, así como también los análisis estadísticos, ideas, criterios, tablas, conclusiones y recomendaciones son de mi exclusiva responsabilidad como autor del proyecto a excepción de las referencias bibliográficas citadas en el mismo.

Ambato, febrero 2024



Bryan Paúl Salinas Freire

C.I. 1805433289

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 proceso 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, febrero 2024



Bryan Paúl Salinas Freire

C.I. 1805433289

AUTOR

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO

Los miembros del Tribunal de Grado aprueban el informe del Trabajo Experimental, realizado por el estudiante Bryan Paúl Salinas Freire de la Carrera de Ingeniería Civil bajo el tema: **“RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN SIMPLE FABRICADO CON AGREGADO FINO PROVENIENTE DE HORMIGONES RECICLADOS”**.

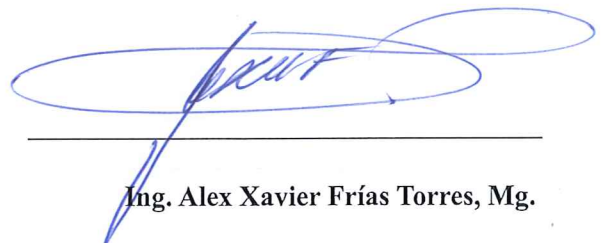
Ambato, febrero 2024

Para constancia firman:



Ing. Wladimir José Ramírez Cabrera, Mg.

MIEMBRO CALIFICADOR



Ing. Alex Xavier Frías Torres, Mg.

MIEMBRO CALIFICADOR

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a las personas que han sido mi fuente inagotable de apoyo, inspiración y amor a lo largo de mi trayecto académico.

A mi madre Myriam Freire, cuyo amor incondicional y sacrificio han sido los pilares que me han llevado hasta este momento y a la memoria de mi padre César Salinas, cuyo amor y sabiduría siguen guiándome a pesar de su ausencia. A mis queridas hermanas Tannia y Scarlett, así como a mi novia Erika, quienes han sido mi faro de esperanza y alegría.

De igual manera a mi familia, quienes me han inculcado valores y principios sólidos, y cuyo respaldo inquebrantable ha sido fundamental en mi educación. También a mis amigos, quienes han compartido risas, consejos y momentos inolvidables a lo largo de esta travesía académica.

Este logro no habría sido posible sin cada uno de ustedes. Esta tesis es un testimonio de mi gratitud y amor eterno. Les dedico este trabajo con todo mi corazón.

Bryan Paúl Salinas Freire

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por permitirme adquirir el conocimiento necesario para llevar a cabo esta investigación y por brindarme la inspiración para explorar nuevas ideas y perspectivas. Reconozco su mano en cada etapa de este proceso, desde la concepción de la idea hasta la redacción final de esta tesis.

A la Universidad Técnica de Ambato y a su Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica, les expreso mi profundo agradecimiento por brindarme la oportunidad de estudiar en esta prestigiosa institución. Durante mi tiempo aquí, he adquirido conocimientos valiosos y experiencias invaluableles que han contribuido en gran medida a mi desarrollo académico y profesional.

De igual manera quiero extender mi más sincero agradecimiento a mi tutora Ing. Mg. Gabriela Peñafiel, cuya orientación, paciencia y apoyo han sido fundamentales para el éxito de este trabajo.

A los ingenieros que me han guiado a lo largo de mi formación, les agradezco por compartir su experiencia y conocimiento conmigo. Sus enseñanzas prácticas y consejos profesionales han enriquecido mi educación y me han preparado para enfrentar los desafíos de la ingeniería en el mundo real.

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
RESUMEN EJECUTIVO.....	xiii
ABSTRACT.....	xiv
CAPITULO I.- MARCO TEÓRICO.....	1
1.1 Antecedentes Investigativos.....	1
1.2 Objetivos.....	5
CAPÍTULO II.- METODOLOGÍA.....	6
2.1 Materiales.....	6
2.2 Métodos.....	7
2.2.1. Fase 1. Análisis de las propiedades físicas y mecánicas de los agregados.....	7
2.2.2. Fase 2. Cuantificación de la dosificación óptima de los hormigones para alcanzar resistencias de 210kg/cm ² y 240 kg/cm ²	10
2.2.3. Fase 3. Determinación de la resistencia del hormigón simple endurecido fabricado con diferentes porcentajes de agregado fino.....	15
CAPÍTULO III.- RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	17
3.1 Análisis y discusión de los resultados.....	17
3.1.1 Resultado Fase 1.....	17
3.1.2 Resultado Fase 2.....	31
3.1.2 Resultado Fase 3.....	48
3.2 Verificación de hipótesis.....	61

3.2.1 Hipótesis	61
3.2.2 Verificación	61
CAPITULO IV.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	62
4.1 Conclusiones	62
4.2 Recomendaciones	63
C. MATERIALES DE REFERENCIA	64
Referencias Bibliográficas.....	64
Anexos.....	68

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Terminología de los datos para el método de densidad optima.....	10
Tabla 2. Relación agua/cemento.....	11
Tabla 3. Cantidad de pasta según el asentamiento	11
Tabla 4. Numero de probetas a ensayar.....	14
Tabla 5. Consistencia del hormigón	15
Tabla 6. Tolerancia admisible para el ensayo de probetas.....	16
Tabla 7. Análisis granulométrico del agregado fino.....	17
Tabla 8. Análisis granulométrico del agregado fino reciclado	19
Tabla 9. Análisis granulométrico del agregado grueso.....	21
Tabla 10. Densidad aparente suelta y compactada del agregado grueso, fino y fino reciclado.	23
Tabla 11. Densidad aparente compactada de la mezcla.....	24
Tabla 12. Porcentaje máximo y óptimo de los agregados	25
Tabla 13. Densidad real y capacidad de absorción del agregado fino.....	26
Tabla 14. Densidad real y capacidad de absorción del agregado fino.....	27
Tabla 15. Densidad real y capacidad de absorción del agregado fino reciclado.	28
Tabla 16. Contenido de humedad	29
Tabla 17. Densidad real del cemento.....	30
Tabla 18. Resumen ensayos preliminares para el método de densidades optimas 210kg/cm ²	31
Tabla 19. Dosificación al peso hormigón de 210 kg/cm ²	32
Tabla 20. Corrección por humedad dosificación 210 kg/cm ²	32
Tabla 21. Resumen ensayos preliminares para el método de densidades optimas 240 kg/cm ²	33
Tabla 22. Dosificación al peso de 240kg/cm ²	34
Tabla 23. Corrección por humedad dosificación 240 kg/cm ²	34

Tabla 24. Dosificaciones de las probetas definitivas de 210 kg/cm ²	35
Tabla 25. . Dosificaciones de las probetas definitivas de 210 kg/cm ²	36
Tabla 26. Propiedades del hormigón en estado fresco f _c = 210 kg/cm ²	36
Tabla 27. Propiedades del hormigón en estado fresco f _c = 240 kg/cm ²	37
Tabla 28. Densidad del hormigón en estado fresco y endurecido f' _c =210 kg/cm ² ..	38
Tabla 29. Densidades promedio del hormigón de 210 kg/cm ²	41
Tabla 30. Densidad del hormigón en estado fresco y endurecido f' _c =240 kg/cm ² ..	43
Tabla 31. Densidades promedio del hormigón de 240 kg/cm ²	46
Tabla 32. Resistencia a compresión a los 7 días de 210kg/cm ²	48
Tabla 33. Resistencia a compresión a los 14 días de 210kg/cm ²	49
Tabla 34. Resistencia a compresión a los 28 días de 210kg/cm ²	50
Tabla 35. Resistencia a compresión a los 7 días de 240kg/cm ²	51
Tabla 36. Resistencia a compresión a los 7 días de 240kg/cm ²	52
Tabla 37. Resistencia a compresión a los 28 días de 240kg/cm ²	53
Tabla 38. Resumen de resistencia del hormigón 210 kg/cm ² a los 7 días de edad...	54
Tabla 39. Resumen de resistencia del hormigón 210 kg/cm ² a los 14 días de edad.	55
Tabla 40. Resumen de resistencia del hormigón 210 kg/cm ² 28 días de edad	56
Tabla 41. Resumen de resistencia del hormigón 240 kg/cm ² a los 7 días de edad...	58
Tabla 42. Resumen de resistencia del hormigón 240 kg/cm ² a los 14 días de edad.	58
Tabla 43. Resumen de resistencia del hormigón 240 kg/cm ² a los 28 días de edad.	59

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Curva granulométrica del agregado fino	18
Figura 2. Curva granulométrica del agregado fino reciclado.....	20
Figura 3. Curva granulométrica del agregado grueso	22
Figura 4. Densidad aparente compactada de la mezcla	25
Figura 5. Densidades promedio hormigón de 210 kg/cm ²	42
Figura 6. Densidades promedio hormigón de 240 kg/cm ²	47
Figura 7. Resistencia a compresión a los 7 días de curado $f'c= 210\text{kg/cm}^2$	55
Figura 8. Resistencia a compresión a los 14 días de curado $f'c= 210\text{kg/cm}^2$	55
Figura 9. Resistencia a compresión a los 28 días de curado	56
Figura 10. Edad vs resistencia a la compresión $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$	57
Figura 11. Resistencia a compresión a los 7 días de curado $f'c=240 \text{ kg/cm}^2$	58
Figura 12. Resistencia a compresión a los 14 días de curado $f'c=240 \text{ kg/cm}^2$	59
Figura 13. Resistencia a compresión a los 28 días de curado $f'c=240 \text{ kg/cm}^2$	59
Figura 14. Edad vs resistencia a la compresión $f'c=240 \text{ kg/cm}^2$	60

RESUMEN EJECUTIVO

La integración de materiales reciclados en la fabricación de hormigón se presenta como una alternativa viable para mitigar el impacto ambiental de la industria de la construcción. En este estudio, se busca determinar el porcentaje óptimo de sustitución de agregado fino reciclado de hormigón en lugar del agregado fino natural, centrándose en evaluar su impacto en la resistencia a la compresión.

El material reciclado se obtuvo a partir de un proceso de trituración de probetas de laboratorio, escombros de aceras y bordillos; tanto el agregado reciclado como los agregados naturales se sometieron a análisis conforme a las normas INEN, después se llevó a cabo el diseño de las dosificaciones del hormigón de 210 kg/cm² y 240 kg/cm² utilizando el Método de la Densidad Óptima desarrollado por la Universidad Central del Ecuador. Posteriormente, se elaboraron probetas de referencia utilizando materiales naturales, para contrastar su resistencia frente a probetas en las cuales se realizó una sustitución, en peso, del agregado fino natural por el agregado fino reciclado, en porcentajes de 10, 15, 30, 60 y 100 por ciento.

Los resultados demuestran que existe una disminución en la resistencia a la compresión a medida que se incrementa el porcentaje de agregado fino reciclado. Sin embargo, se observa que porcentajes de sustitución del 10 al 30 por ciento pueden ofrecer resistencias a la compresión aceptables. Esto destaca el potencial de los materiales reciclados para la fabricación de hormigón siendo una prometedora solución para reducir el impacto ambiental, siempre que se consideren sus limitaciones.

Palabras Clave: Hormigón, Hormigón reciclado, Agregado Fino, Agregado reciclado, Resistencia a la Compresión.

ABSTRACT

The integration of recycled materials in the manufacture of concrete is presented as a viable alternative to mitigate the environmental impact of the construction industry. In this study, we seek to determine the optimal percentage of substitution of recycled fine aggregate in concrete in place of natural fine aggregate, focusing on evaluating its impact on compressive strength.

The recycled material was obtained from a crushing process of laboratory specimens, sidewalk debris and curbs; both recycled aggregate and natural aggregates were subjected to analysis according to INEN standards, then the design of concrete dosages of 210 kg/cm² and 240 kg/cm² was carried out using the Optimal Density Method developed by the Central University of Ecuador. Subsequently, reference specimens were prepared using natural materials to compare their resistance with specimens in which the natural fine aggregate was replaced by recycled fine aggregate in percentages of 10, 15, 30, 30, 60 and 100 percent.

The results show that there is a decrease in the compressive strength as the percentage of recycled fine aggregate increases. However, it is observed that replacement percentages of 10 to 30 percent can provide acceptable compressive strengths. This highlights the potential of recycled materials for concrete manufacturing as a promising solution to reduce environmental impact, provided that their limitations are considered.

Keywords: Concrete; Recycled concrete; Fine aggregate; Recycled aggregate; Compressive strength.

CAPITULO I.- MARCO TEÓRICO

1.1 Antecedentes Investigativos

En la actualidad, el uso extendido del hormigón en la construcción ha generado un problema creciente de residuos. Aunque el hormigón es apreciado por su durabilidad y resistencia, su demolición y renovación generan grandes cantidades de desechos que requieren una gestión adecuada para minimizar su impacto ambiental. En países como México se han llevado a cabo investigaciones sobre el reciclaje y reutilización de residuos logrando la creación de nuevos agregados [1].

En lo que respecta a Ecuador, el crecimiento constante de la construcción ha llevado a un aumento en la producción de residuos, los cuales, al no ser gestionados adecuadamente, impactan negativamente en el medio ambiente. Sin embargo, un estudio detallado sobre áridos reciclados ha revelado que, al utilizarlos en hormigón, se pueden obtener beneficios económicos y medioambientales significativos. Estos áridos cumplen con los estándares requeridos y permiten una sustitución del 30% del árido natural, liberando espacio en vertederos y ahorrando costos [2].

En particular, el uso de agregado fino reciclado en la fabricación de hormigón ha ganado interés debido a su potencial para disminuir la demanda de recursos naturales y reducir la cantidad de residuos generados. Sin embargo, al no poseer las mismas características mecánicas y de resistencia que un agregado fino natural, es necesario evaluar su desempeño estructural y su capacidad para cumplir con los requisitos de diseño y seguridad [3].

Según la Norma Técnica Ecuatoriana INEN define el hormigón como un material compuesto por un medio aglutinante con partículas y fragmentos de áridos como arena, grava y piedra triturada. Siendo la arena el árido fino de la mezcla la cual debe cumplir con requisitos de gradación y módulo de finura, pero si no los cumple, puede ser aceptado si se demuestra que el hormigón elaborado con él tiene propiedades similares, por lo que se podrá reemplazar el agrado fino por otro en este caso reciclado, siempre que se compruebe que cumple con los requerimientos [4], [5].

Con respecto a esto los resultados obtenidos por Matthey *et at.* [6] revelan que los agregados finos reciclados, en líneas generales, presentan un comportamiento similar al de la arena natural, aunque muestran una ligera diferencia en cuanto a su

granulometría, siendo un poco más gruesos. Esta discrepancia se aprecia en la curva granulométrica, que exhibe una pequeña desviación en los tamices con aberturas de 2,36 mm y 1,18 mm en comparación con las arenas naturales. Sin embargo, dada la magnitud reducida de esta desviación, se considera que los agregados finos reciclados poseen un perfil granulométrico adecuado para su uso en la producción de concreto.

Por otro lado, en el artículo publicado por Bucio *et al.*[7] se encuentran ensayos realizados de los agregados finos reciclados (AFR) y los agregados finos naturales (AFN) donde se observa diferencias en su distribución de tamaño de partículas. El AFR mostró un predominio de partículas finas debido a la trituración del concreto, con un módulo de finura de 1,77. Por otro lado, el AFN presentó una curva bien graduada con un módulo de finura de 3,36.

En ensayos realizados por Castro *et al.* [8] se evaluó el empleo de agregado grueso reciclado (AGR) sin tratamiento y tratado (AGRT1 y AGRT2), como sustituto del agregado natural en la manufactura de concretos autocompactantes (CAC), con un énfasis en el análisis de su influencia en las propiedades tanto en estado fresco como endurecido de los CAC. Donde se verificó la factibilidad de la elaboración de CAC con distintos niveles de sustitución del agregado grueso natural por el agregado reciclado, destacando que la eliminación parcial del mortero adherido a los AGR mejora las características del material, lo cual se refleja en las propiedades de los CAC que incorporan AGR tratado (AGRT1 y AGRT2).

Otro factor determinante en las propiedades de los hormigones reciclados es el porcentaje de sustitución de agregado reciclado (AR) por agregado natural (AN) que ha sido analizado por Cabrera *et al.* [9], donde se evidencia que a medida que se incrementa el porcentaje de sustitución de AR por AN, se requiere una mayor cantidad de agua para lograr la consistencia normalizada en los morteros. Esta tendencia es particularmente notoria en casos de reemplazos del 100%. De igual manera en ensayos realizados por Rómulo [10] demuestran que la porosidad de los agregados reciclados, junto con su superficie rugosa, presenta un desafío en la manipulación del hormigón en su estado fresco. Esta dificultad se deriva principalmente de la mayor capacidad de absorción de agua de los agregados reciclados en comparación con los agregados naturales (AN). La porosidad de estos agregados reciclados puede resultar en una mayor demanda de agua durante la mezcla y el proceso de vertido, lo que a su vez

influye en la consistencia y manejabilidad del hormigón. Estos hallazgos resaltan la importancia de gestionar con precisión tanto el contenido de agregado reciclado como la relación agua-cemento en la formulación de morteros para lograr las propiedades deseadas.

Por lo que según los hallazgos obtenidos por Sosa [11], se puede afirmar que es posible emplear hormigones reciclados que contengan hasta un 30% de agregado reciclado, ya sea grueso o fino. No obstante, será necesario llevar a cabo un estricto control de las propiedades de los materiales que se utilicen. Este hecho permitirá obtener hormigones reciclados con niveles de resistencia y deformabilidad similares a los requeridos para los hormigones elaborados con agregados naturales de densidad estándar.

Se ha realizado la elaboración de bloques con residuos de construcción donde los ensayos experimentales han demostrado que este material reciclado cumple con las características requeridas por la norma ecuatoriana y presenta propiedades físicas, químicas y mecánicas similares a los agregados naturales. La investigación es de gran relevancia, ya que permite ver que el agregado reciclado puede ser utilizado como un sustituto viable de los agregados naturales en la fabricación de hormigón [12].

En cuanto a los hormigones estructurales los resultados de los ensayos realizados por Gutiérrez *et al.* [13] indican que es factible incorporar agregados reciclados en su fabricación. No obstante, esta aplicación conlleva ciertas restricciones. En primer lugar, se limita la utilización de agregados reciclados a aquellos provenientes mayoritariamente de residuos de construcción y demolición, en su mayoría compuestos por hormigón. Además, se restringe su uso a la fracción gruesa del agregado reciclado, con un tamaño máximo de más de 4 mm. Se recomienda, en el caso de hormigones estructurales, combinar estos agregados con agregados naturales gruesos en un porcentaje máximo del 20%. Estas restricciones se implementan con el propósito de mitigar el impacto de la potencial menor calidad de los agregados reciclados en las propiedades mecánicas del hormigón.

Adicionalmente un aspecto importante para obtener la resistencia deseada, como lo evidencia el estudio de Zambrano *et al.* [14], es el proceso de curado del hormigón. En dicho estudio, se evaluaron tres métodos de curado: hidratación continua, cubiertas húmedas y láminas de polietileno. Los resultados mostraron que el curado con

cubiertas húmedas obtuvo la mayor resistencia a la compresión a los 28 días, seguido por el curado con hidratación continua y láminas de polietileno.

Por otra parte, el programa experimental desarrollado en la Universidad de Buenos Aires para caracterizar mecánicamente a los hormigones fabricados con agregados provenientes de hormigones reciclados mostró que su resistencia a la compresión y rigidez disminuyeron al aumentar el porcentaje de reemplazo de agregados naturales por reciclados. Esta caracterización sugiere que la cantidad de agregado fino reciclado en la mezcla de hormigón puede tener un impacto significativo en sus propiedades mecánicas. [15]

En los ensayos de compresión realizados por Mendoza *et al.* [16] se observa que la resistencia a los 7 días es significativamente mayor en los concretos naturales en comparación con los concretos reciclados. Sin embargo, a medida que avanza el tiempo y se evalúa la resistencia a los 28 días, se nota un cambio interesante. En este punto, la resistencia de los concretos reciclados supera ligeramente a la de los concretos naturales. Este hallazgo indica un comportamiento que muestra similitudes notables entre los concretos reciclados y los concretos naturales a medida que evoluciona el proceso de fraguado y endurecimiento. Este fenómeno sugiere la posibilidad de que los concretos reciclados sean una alternativa viable y sostenible, ya que con el tiempo pueden equipararse e incluso superar las propiedades de los concretos convencionales.

En base a los antecedentes previamente analizados, el desarrollo de este proyecto de investigación aportará un conocimiento fundamental para la utilización del hormigón con agregado fino reciclado. Los estudios demuestran que los agregados finos reciclados pueden sustituir parcialmente a los naturales en la mezcla de concreto, obteniendo resultados satisfactorios. Sin embargo, se advierte que será necesario un control de las propiedades de los materiales utilizados para garantizar el cumplimiento de los estándares requeridos.

1.2 Objetivos

Objetivo General

Determinar la resistencia a la compresión del hormigón simple fabricado con agregado fino proveniente de hormigones reciclados y compararlo con el hormigón simple tradicional.

Objetivos Específicos

- Analizar las propiedades físicas y mecánicas de los agregados utilizados en la fabricación de hormigón simple.
- Cuantificar la dosificación óptima de los hormigones reciclados para alcanzar resistencias de 210kg/cm^2 y 240 kg/cm^2
- Determinar la resistencia del hormigón simple endurecido fabricado con diferentes porcentajes de agregado fino reciclado.

CAPÍTULO II.- METODOLOGÍA.

En el presente capítulo metodológico, se detallan las tres fases en las que se dividió el proyecto de investigación. La primera fase se centró en el análisis de las propiedades físicas y mecánicas de los agregados utilizados en la fabricación de hormigón simple. La segunda fase tuvo como objetivo la cuantificación de la dosificación óptima de hormigones, para alcanzar resistencias de 210 kg/cm² y 240 kg/cm². Finalmente, la tercera fase se dedicó a determinar la resistencia del hormigón simple endurecido fabricado con diferentes porcentajes de agregado fino reciclado. A continuación, se describen los materiales y métodos utilizados en las fases.

2.1 Materiales

Para la primera fase, se utilizaron tamices cuadrados específicos para la granulometría del agregado grueso. De igual manera, para la granulometría del agregado fino, se emplearon tamices metálicos de la marca Humboldt, junto con una tamizadora eléctrica de la marca Controls, modelo 15-d0407/BZ, que facilitó el proceso de tamizado. En la determinación de la densidad aparente, suelta y compactada de los agregados finos y gruesos, así como de la combinada de los agregados, se empleó un molde metálico con las especificaciones de la norma ASTM C29. Para la evaluación de la densidad real y la capacidad de absorción del agregado fino, se empleó un cono de absorción de arena y un pisón, de acuerdo con la norma ASTM C128 y se recurrió al uso de un picnómetro de la marca LMS, con un volumen de 500 ml. y se empleó un horno eléctrico de la marca Humboldt.

Durante la segunda fase, enfocada en la cuantificación de la dosificación óptima de los hormigones para lograr las resistencias específicas, se utilizó la balanza electrónica de plataforma, de la marca MATEST y modelo V075-21 TCS-150 Kg, se utilizó moldes cilíndricos estándar con dimensiones internas de 10 mm x 20 mm, siguiendo las normativas de la ASTM C39. y se empleó un Cono de Abrams, con las especificaciones de la norma ASTM C143.

En la tercera y última fase de la investigación, centrada en la determinación de la resistencia del hormigón simple endurecido fabricado con diferentes porcentajes de agregado fino reciclado, se empleó la máquina de compresión marca CONTROLS.

2.2 Métodos

2.2.1. Fase 1. Análisis de las propiedades físicas y mecánicas de los agregados

En esta fase del proyecto de investigación, se optó por realizar una investigación de laboratorio, el objetivo de esta fase era obtener información sobre las propiedades del cemento, del agregado grueso (AG), del agregado fino (AF) y del agregado fino reciclado (AFR), utilizando para ello los procedimientos establecidos en las normas INEN.

-Análisis Granulométrico

Este ensayo se basó en la clasificación de partículas de los agregados fino y grueso mediante tamices graduados dispuestos de mayor a menor tamaño, siguiendo el método de ensayo descrito por la normativa NTE INEN 696. En el caso del agregado grueso, se llevó a cabo la separación de partículas en condiciones secas y masa conocida, utilizando una serie de tamices cuadrados (2", 1 1/2", 1", 3/4", 1/2", 3/8", #4). Cada fracción retenida en los tamices se pesó y se calculó el porcentaje acumulado retenido en cada uno. En cuanto al agregado fino y el agregado fino reciclado, el método de ensayo siguió una línea similar, separando las partículas en condiciones secas y con masa conocida. La diferencia radica en el uso de una serie de tamices redondos (#4, #8, #16, #30, #50, #100, #200) y la utilización una máquina tamizadora para la separación de las partículas [17].

De este ensayo se obtiene la curva granulométrica, una representación gráfica de la distribución del tamaño de partículas en los agregados. Es relevante señalar que dicha curva debe cumplir con los límites establecidos por la norma técnica ecuatoriana NTE INEN 872 para asegurar su utilización en la elaboración de hormigón [18].

-Densidad real y porcentaje de absorción.

En el desarrollo de ese ensayo, se siguió el método establecido por la norma técnica ecuatoriana NTE INEN 857 para determinar la densidad, densidad relativa y absorción del árido grueso. Siguiendo esta normativa, el ripio fue secado en el horno, seguido de una inmersión en agua durante un día y un subsiguiente proceso de secado con un paño absorbente hasta alcanzar la condición de saturado superficialmente seco (SSS). Posteriormente, se procedió a la medición del agregado tanto al aire como en agua, para el cálculo de la densidad real del ripio [19].

En cuanto a la densidad real del agregado fino, se siguió el procedimiento establecido por la norma técnica ecuatoriana NTE INEN 856. El proceso inicial que debe seguir el agregado fino guarda similitudes con el aplicado al agregado grueso. Diferenciado en que, para verificar que el agregado se encuentre en condiciones de saturación superficialmente seca, se realizó el ensayo del cono truncado para confirmar su estado SSS y proceder a tomar una muestra. Se obtuvo la masa de la muestra, luego se determinó su volumen mediante el método gravimétrico, obteniendo así la densidad real de la arena [20].

El procedimiento para la determinación de la absorción es igual para ambos agregados e implica la toma de muestras del agregado en la condición de saturado superficialmente seco, para un proceso de secado al horno. Después de un día, se registra la masa de las muestras en estado seco [19], [20].

La densidad real del agregado grueso se obtiene con la ecuación siguiente.

$$DRR = \frac{M_{SSS}}{\frac{M_{SSS} - M_A}{\text{Densidad del agua}}} \quad (1)$$

La siguiente ecuación se utilizó para obtener la densidad real del agregado fino.

$$DRA = \frac{M_{SSS}}{V_{MATERIAL}} \quad (2)$$

La capacidad de absorción se ve expresada en la siguiente ecuación.

$$ABS\% = \frac{M_{SSS} - M_{SECO}}{M_{SECO}} * 100 \quad (3)$$

Donde:

M_{SSS} = Masa saturada superficie seca

M_A = Masa en agua de la muestra

M_{SECO} = Masa secada en horno

-Densidad aparente suelta y compactada

Este ensayo siguió las pautas establecidas en la norma NTE INEN 858. El procedimiento descrito a continuación se aplicó tanto para el agregado grueso como para el fino. Se inició con el secado de los agregados hasta alcanzar una masa constante. En el caso de la densidad aparente suelta, se vertió cada tipo de agregado en un molde metálico previamente pesado y se niveló para luego determinar el peso.

En cuanto a la densidad aparente compactada, se dispuso el agregado en tres capas, compactando cada una con 25 golpes de una varilla de punta redondeada, para posteriormente proceder al pesaje [21].

Se utilizó la siguiente fórmula para determinar las densidades suelta y compactada.

$$Densidad = \frac{Masa\ total\ de\ la\ muestra}{Volumen\ total\ ocupado\ por\ la\ muestra} \quad (4)$$

-Densidad compactada combinada de los agregados

El procedimiento es similar al mencionado anteriormente de la densidad aparente compactada, con la diferencia de que se aplicó una combinación del agregado grueso y fino. En este ensayo, se aumenta en un 10% las cantidades de arena hasta alcanzar una mezcla final con un 40% de ripio y un 60% de arena. Para luego llevar a cabo la compactación en tres capas con 25 golpes para cada porcentaje de arena, registrando los pesos de cada uno. [21].

Después de obtener las densidades correspondientes a cada variación en el porcentaje de árido fino, se lleva a cabo la elaboración de una representación gráfica que relaciona el porcentaje de árido fino con la densidad alcanzada. Esta representación gráfica resulta en una curva que nos permite identificar la densidad máxima y el porcentaje óptimo de agregados.

-Densidad real del cemento

De acuerdo con la Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 156, el procedimiento inicio con la obtención de una muestra de cemento, la cual fue sometida a un proceso de secado. Luego, se determinó la masa y el volumen de la muestra. En el caso del volumen, se empleó un líquido no reactivo, como la gasolina, y se llevó a cabo la colocación de la muestra en el picnómetro, siguiendo las indicaciones del procedimiento normativo.[22]

-Contenido de humedad

La norma NTE INEN 862 especifica el procedimiento para determinar el contenido completo de humedad de la muestra utilizando las masas inicial y final. La humedad del árido es el porcentaje de agua evaporada con respecto a la masa seca. Dado que la mayoría de los agregados se encuentran en estado húmedo, resulta esencial realizar

mediciones frecuentes del contenido de humedad para ajustar con las proporciones en la mezcla.[23]

2.2.2. Fase 2. Cuantificación de la dosificación óptima de los hormigones para alcanzar resistencias de 210kg/cm² y 240 kg/cm²

En base a los resultados recopilados en la fase anterior, se llevó a cabo la fase de dosificación con el objetivo de lograr que las muestras de hormigón alcanzaran resistencias específicas a la compresión, establecidas en 210 kg/cm² y 240 kg/cm². Una vez completada la dosificación inicial, se utilizará la misma en la introducción de variaciones en el agregado fino, incorporando diferentes proporciones de agregado fino reciclado.

- Método de la densidad Óptima

Se realizó el diseño conforme al procedimiento establecido en la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Central del Ecuador este método implica la identificación de la densidad óptima para la combinación de agregados y la determinación de la cantidad adecuada pasta para llenar los espacios vacíos dejados por los agregados y de esta manera recubrir cada partícula de agregado, facilitando la formación de enlaces entre ellas y logrando así un hormigón estructural con la resistencia requerida [24].

En la tabla 1 se describe la terminología utilizada el método de densidad optima.

Tabla 1. Terminología de los datos para el método de densidad optima

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

Fuente: [24]

A continuación, se describe el procedimiento para dosificar hormigón por el método de densidad optima:

1. Se eligió la proporción a/c de acuerdo con la resistencia prevista al cabo de los 28 días de curado, en este caso se eligió una relación a/c de 0.58 para la resistencia de 210kg/cm² y de 0.56 para la resistencia de 240 kg/cm².

Tabla 2. Relación agua/cemento

f'c / Mpa	RELACIÓN AGUA/CEMENTO
45	0.37
42	0.4
40	0.42
35	0.46
32	0.5
30	0.51
28	0.52
25	0.55
24	0.56
21	0.58
18	0.6

Fuente: [25]

2. Se procedió al cálculo de la densidad real de la mezcla (DRM) entre el agregado grueso y el agregado fino, utilizando los volúmenes reales y aparentes, para ello se utilizó la siguiente ecuación:

$$DRM = \frac{DRA * POA + DRR * POR}{100} \quad (5)$$

3. Mediante la siguiente ecuación se obtuvo el porcentaje óptimo de vacíos (POV)

$$POV = \frac{DRM - DOM}{DRM} * 100 \quad (6)$$

4. Se llevó a cabo el cálculo de la cantidad de pasta (CP) con el objetivo de ocupar los espacios vacíos dejados por los agregados, considerando el asentamiento deseado que se buscaba alcanzar que era de 6-9.

Tabla 3. Cantidad de pasta según el asentamiento

Asentamiento en cm	Cantidad de pasta en %
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)

Fuente: [25]

Obtenido la cantidad de pasta en porcentaje se procedió a calcular la cantidad de pasta para 1000 dm³ de hormigón mediante la siguiente ecuación

$$CP = \frac{CP(\%)}{100\%} * 1000 \text{ dm}^3 \quad (7)$$

5. Se cálculo la cantidad de cemento (C), agua (W), de agregado fino (A) y de agregado grueso (R) para 1000 dm³ de hormigón para obtener la dosificación por peso.

$$C = \frac{CP}{\frac{W}{C} + \frac{1}{DRC}} \quad (8)$$

$$W = \frac{W}{C} * C \quad (9)$$

$$A = (1000 - CP) * \frac{DRA * POA}{100} \quad (10)$$

$$A = (1000 - CP) * \frac{DRR * POR}{100} \quad (11)$$

6. Finalmente se obtiene la dosificación al peso

$$\text{Dosificación al peso} = \frac{\text{Cantidad de material por m}^3}{\text{Cantidad de cemento por m}^3} \quad (12)$$

-Corrección de humedad

Las dosificaciones fueron calculadas para una condición de saturación superficialmente seca (SSS). Sin embargo, esto no corresponde con la realidad ya que los agregados que se ocuparon para la elaboración del hormigón se encuentran con un porcentaje de humedad. Por ende, se necesitó llevar a cabo una corrección por humedad. Para llevar, se siguió el procedimiento especificado en la Norma Técnica Ecuatoriana (NTE) INEN 862, por lo que se midió el contenido de humedad un día antes de la fabricación del hormigón, asegurando así la precisión de las dosificaciones al considerar el contenido de humedad real de los agregados.[23]

Para calcular el aporte de agua de los agregados se utilizó la siguiente formula:

$$AW = M_{SECO} * \frac{(H\% - ABS\%)}{100} \quad (13)$$

Donde:

Aw = Aporte de agua del agregado

M_{SECO} = Masa del agregado secado al horno

H% = Contenido de humedad

ABS% = Capacidad de absorción

- Elaboración de probetas de prueba

Se produjeron 3 cilindros utilizando agregados naturales por cada resistencia, con la finalidad de evaluar, después de 7 días de curado, si las resistencias de 210 kg/cm² y 240 kg/cm² se habían alcanzado, para de esta forma verificar si las dosificaciones eran correctas. Adicionalmente, se evaluaron diversas propiedades en estado fresco del hormigón, tales como la trabajabilidad y la densidad.

- Elaboración de probetas finales

De acuerdo con las dosificaciones de 210 kg/cm² y 240 kg/cm² obtenidas en el método de la Densidad Óptima, se fabricaron probetas de hormigón convencional y de hormigón reciclado. Los cilindros se fabricaron con diferentes porcentajes de agregado fino reciclado con un reemplazo al peso del 10%, 15%, 30%, 60% y 100%. Se realizaron ensayos a los 7, 14, y 28 días de curado siguiendo las normativas especificadas en la norma NTE INEN [26].

-Cantidad de probetas

Los moldes elegidos realizar las probetas fueron de 100 mm de diámetro y de 200 mm de altura por lo que siguiendo las especificaciones de la norma INEN 1573, se decidió ensayar 3 probetas por cada variación de agregado fino reciclado y por día de ensayo, por lo que la cantidad total fue de 108 cilindros, los cuales se dividieron en 9 cilindros por cada variación de agregado fino reciclado y por cada resistencia [27].

Tabla 4. Numero de probetas a ensayar

Dosificación (kg/cm ²)	Tiempo de curado	Reemplazo del agregado fino reciclado (%)					Probetas patrón
		10	15	30	60	100	
210	7	3	3	3	3	3	3
	14	3	3	3	3	3	3
	28	3	3	3	3	3	3
240	7	3	3	3	3	3	3
	14	3	3	3	3	3	3
	28	3	3	3	3	3	3
TOTAL, DE PROBETAS		108					

Fuente: Bryan Paul Salinas Freire

-Propiedades del hormigón en estado fresco

La evaluación de las propiedades en estado fresco del hormigón desempeña un papel fundamental en la calidad del concreto. Estas propiedades se refieren a las características del material cuando se encuentra recién mezclado, antes de su fraguado y endurecimiento. Comprender y controlar estas propiedades en estado fresco es esencial para garantizar la durabilidad, resistencia y funcionalidad óptimas de las estructuras de concreto.

- **Trabajabilidad:** La trabajabilidad del concreto se refiere a su facilidad para mezclar, colocar, consolidar y terminar. Esta propiedad se define como la facilidad de manipulación sin pérdida de homogeneidad. La relación agua-cemento es crucial, siendo la trabajabilidad proporcional a dicha relación. Se distinguen tres tipos: concreto no trabajable (duro), medio trabajable (común en construcción) y altamente trabajable (útil en casos de difícil compactación). La elección depende de la aplicación, variando en proporciones y métodos según el tipo de construcción y compactación utilizados [28].
- **Consistencia:** Es un parámetro clave que influye en su trabajabilidad y capacidad de ser colocado y compactado adecuadamente. Según la normativa, la evaluación de la consistencia se realiza comúnmente mediante la prueba del cono de Abrams. Este método, definido por la norma INEN 1578, consiste en llenar un cono troncocónico con hormigón fresco en 3 capas sucesivas, con una compactación de 25 golpes por capa para luego levantar el cono para permitir que el hormigón se extienda. La medida de la distancia que se desplaza con

respecto al cono proporciona una indicación de la consistencia del hormigón [29].

Tabla 5. Consistencia del hormigón

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

Fuente: [30]

- Homogeneidad: Se refiere a la capacidad de distribuir de manera uniforme los diferentes componentes en toda la mezcla, asegurando una proporción igual en toda su extensión. La homogeneidad se clasifica mediante siglas como MB (Muy Buena), B (Buena), R (Regular) y M (Mala). En esencia, la propiedad de homogeneidad implica que cada componente del hormigón recién amasado debe tener la dosificación correcta y estar completamente integrado con los demás materiales, garantizando así una distribución equitativa en toda la masa de concreto resultante [31].
- Densidad en estado fresco: Es la cantidad de masa de concreto recién mezclado presente en una unidad de volumen. Esta característica refleja la uniformidad de la mezcla y puede identificar cambios en los componentes del concreto. La determinación de la densidad del concreto en estado fresco se rige por la normativa NTE INEN 1579, que establece el procedimiento que implica verter el concreto recién mezclado en un recipiente y luego registrar datos de pesos y dimensiones del molde y de esta forma obtener la densidad [32].

2.2.3. Fase 3. Determinación de la resistencia del hormigón simple endurecido fabricado con diferentes porcentajes de agregado fino

En esta fase, se empleó un enfoque de investigación experimental para determinar la resistencia del hormigón mediante ensayos de compresión de cada uno de los especímenes, siguiendo las especificaciones establecidas en la normativa INEN 1573. El ensayo consiste en la aplicación de carga sobre la cara superior de los cilindros de hormigón con el fin de comprimir el espécimen hasta su ruptura. Para asegurar la

precisión de los resultados, se siguieron rigurosamente los procedimientos detallados según lo especificado en la norma [27].

En primer lugar, fue esencial recopilar información sobre la probeta, incluyendo altura, diámetro y peso. Luego, se ajustaron los moldes superior e inferior de acuerdo con las dimensiones de la probeta y se ensayó a una velocidad de carga entre 0.25 ± 0.05 Mpa/s, y se tuvo cuidado de que la cara superior de los cilindros fuera completamente plana para prevenir concentraciones de esfuerzo que pudieran afectar los resultados de resistencia [27].

Los ensayos fueron realizados dentro del tiempo límite especificado en la norma el cual se detalla a continuación en la siguiente tabla:

Tabla 6. Tolerancia admisible para el ensayo de probetas

Edad de Ensayo	Tolerancia admisible
24 horas	± 0.5 h o 2.1 %
3 días	2 horas o 2.8%
7 días	6 horas o 3.6%
28 días	20 horas o 3.0%
90 días	2 días o 2.2%

Fuente: [27]

Finalmente, la resistencia a la compresión se calculó dividiendo la carga máxima alcanzada durante el ensayo por el área de la sección transversal de la probeta.

CAPÍTULO III.- RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Análisis y discusión de los resultados.

3.1.1 Resultado Fase 1

-Análisis granulométrico del agregado fino

Tabla 7. Análisis granulométrico del agregado fino

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO							
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA							
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL							
RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN SIMPLE FABRICADO CON AGREGADO FINO PROVENIENTE DE HORMIGONES RECICLADOS							
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DEL AGREGADO FINO							
Origen:		Mina Las Viñas					
Ensayado por:		Bryan Paúl Salinas Freire					
Norma:		NTE INEN 696			Fecha:		11/10/2023
Peso muestra (gr):		1000			Pérdida de muestra:		0.28
Tamiz (plg)	Abertura (mm)	Retenido parcial (gr)	Retenido acumulado (gr)	% Retenido acumulado	% Que pasa	Límites NTE INEN 872	
						Límite inferior	Límite superior
3/8	9.5	0	0	0	100	100	100
#4	4.76	14.2	14.2	1.42	98.58	95	100
#8	2.38	90.2	104.4	10.44	89.56	80	100
#16	1.19	129.1	233.5	23.35	76.65	50	85
#30	0.59	245.5	479	47.9	52.1	25	60
#50	0.297	280.6	759.6	75.96	24.04	10	30
#100	0.149	137.3	896.9	89.69	10.31	2	10
#200	0.075	79.1	976	97.6	2.4	-	-
Bandeja		21.2	993.2	99.32	0.68	-	-
Módulo de finura				2.49			

Fuente: Bryan Paul Salinas Freire

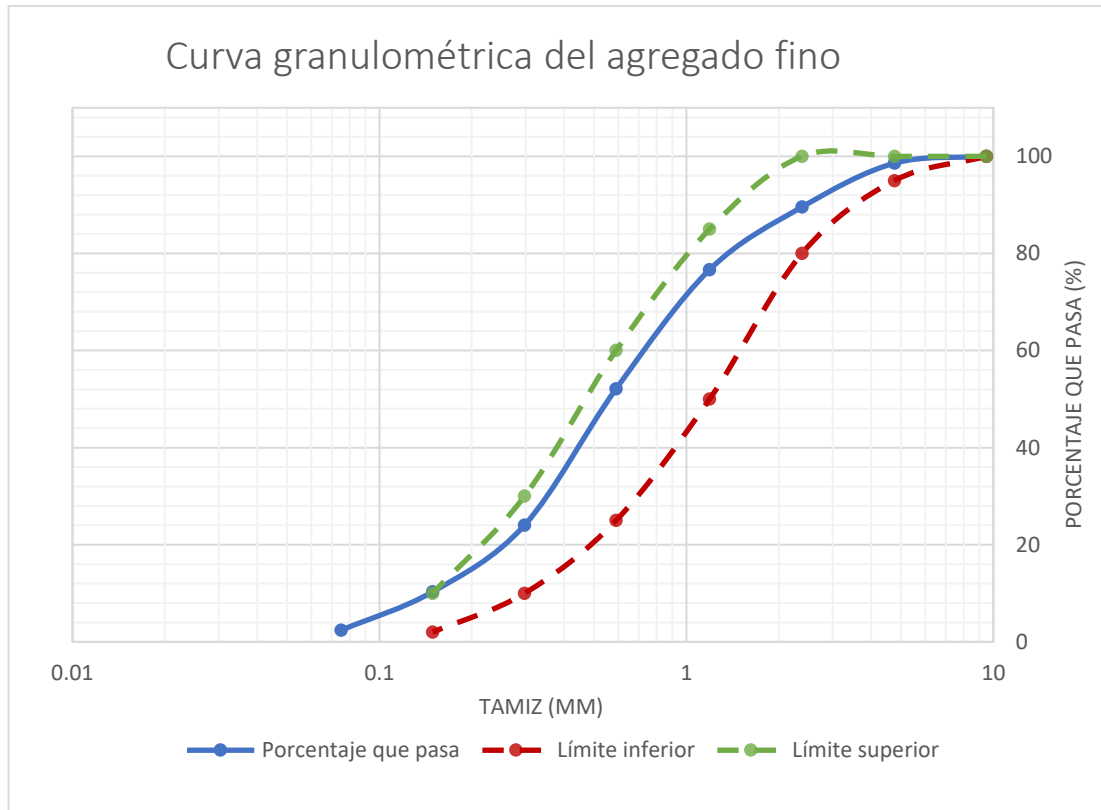


Figura 1. Curva granulométrica del agregado fino

Fuente: Bryan Paul Salinas Freire

Análisis: A través del de la curva granulométrica, se pudo constatar que el árido fino extraído de la mina "Las Viñas" en Ambato cumple con los requisitos normativos para la elaboración de concreto. La información obtenida de la granulometría mostró que la arena se encuentra dentro de los límites establecidos, presentó un módulo de finura de 2.35, ubicándose en el rango recomendado de 2.30 a 3.10. Esto respalda su calidad para el uso en la elaboración de concreto.

-Análisis granulométrico del agregado fino reciclado

Tabla 8. Análisis granulométrico del agregado fino reciclado

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO							
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA							
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL							
RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN SIMPLE FABRICADO CON AGREGADO FINO PROVENIENTE DE HORMIGONES RECICLADOS							
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DEL AGREGADO FINO RECICLADO							
Origen:		Mina Las Viñas					
Ensayado por:		Paúl Salinas					
Norma:		NTE INEN 696		Fecha:		12/10/2023	
Peso muestra (gr):		1000		Pérdida de muestra:		0.58	
Tamiz (plg)	Abertura (mm)	Retenido parcial (gr)	Retenido acumulado (gr)	% Retenido acumulado	% Que pasa	Límites NTE INEN 872	
						Límite inferior	Límite superior
3/8	9.5	0	0	0	100	100	100
#4	4.76	28.9	28.9	2.89	97.11	95	100
#8	2.38	176.8	205.7	20.57	79.43	80	100
#16	1.19	200.3	406	40.6	59.4	50	85
#30	0.59	176.7	582.7	58.27	41.73	25	60
#50	0.297	197.2	779.9	77.99	22.01	10	30
#100	0.149	111.5	891.4	89.14	10.86	2	10
#200	0.075	82.6	974	97.4	2.6	-	-
Bandeja		20.2	994.2	99.42	0.58	-	-
Módulo de finura				2.89			

Fuente: Bryan Paul Salinas Freire

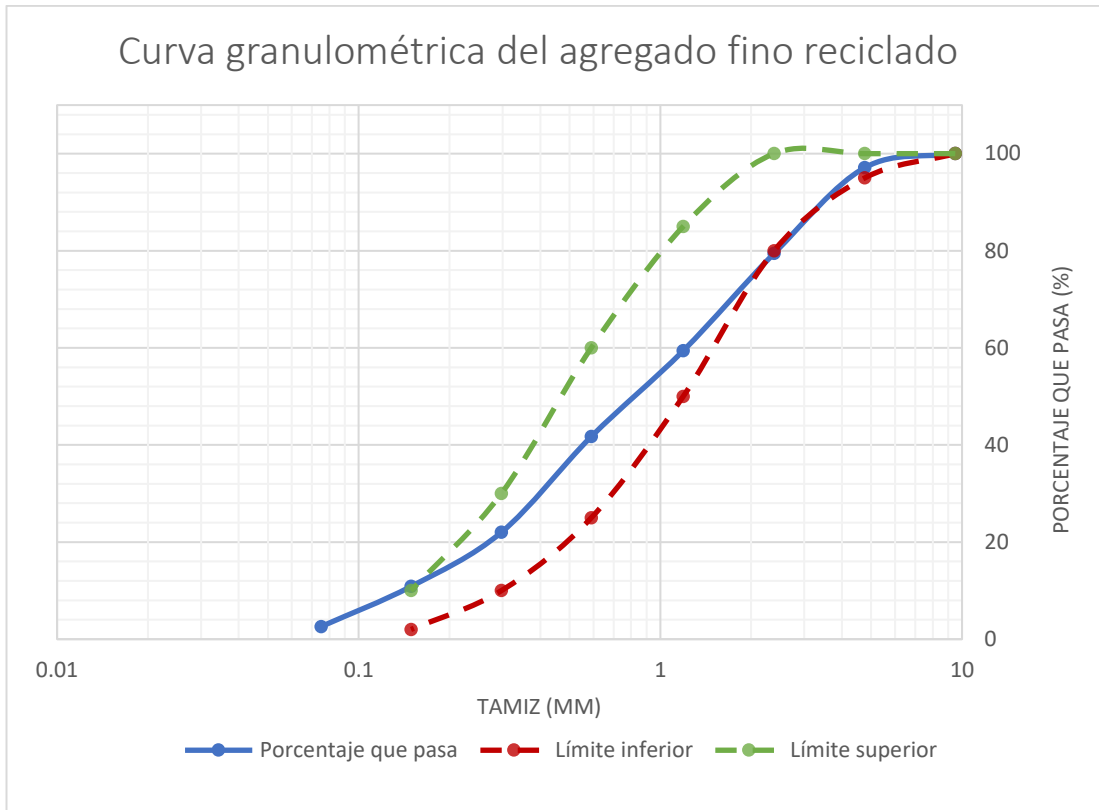


Figura 2. Curva granulométrica del agregado fino reciclado

Fuente: Bryan Paul Salinas Freire

Análisis: Mediante la curva granulométrica, se verificó que el árido fino reciclado utilizado cumple con los requisitos normativos necesarios para la fabricación de concreto. Los resultados obtenidos del análisis granulométrico indicaron que se sitúa dentro de los límites establecidos, exhibiendo un módulo de finura de 2.89. A pesar de tener un módulo superior al del agregado fino natural, aún se encuentra dentro del rango recomendado de 2.30 a 3.10.

-Análisis granulométrico del agregado grueso

Tabla 9. Análisis granulométrico del agregado grueso

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL							
RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN SIMPLE FABRICADO CON AGREGADO FINO PROVENIENTE DE HORMIGONES RECICLADOS							
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DEL AGREGADO GRUESO							
Origen:		Mina Las Viñas					
Ensayado por:		Paúl Salinas					
Norma:		NTE INEN 696		Fecha:		12/10/2023	
Peso muestra (gr):		10000		Pérdida de muestra:		0.84	
Tamiz (pulg)	Abertura (mm)	Retenido parcial (gr)	Retenido acumulado (gr)	% Retenido acumulado	% Que pasa	Límites NTE INEN 872	
						Límite inferior	Límite superior
1 1/2"	38.1	0	0	0	100.00	100	100
1"	25.4	58	58	0.58	99.42	90	100
3/4"	19.05	2256	2314	23.14	76.86	40	85
1/2"	12.7	5021	7335	73.35	26.65	10	40
3/8"	9.53	2439	9774	97.74	2.26	0	15
#4	4.75	126	9900	99.00	1.00	0	5
Bandeja		16	9916	99.16	0.84	-	-
Tamaño nominal máximo				3/4"			
Tamaño máximo				1"			

Fuente: Bryan Paul Salinas Freire

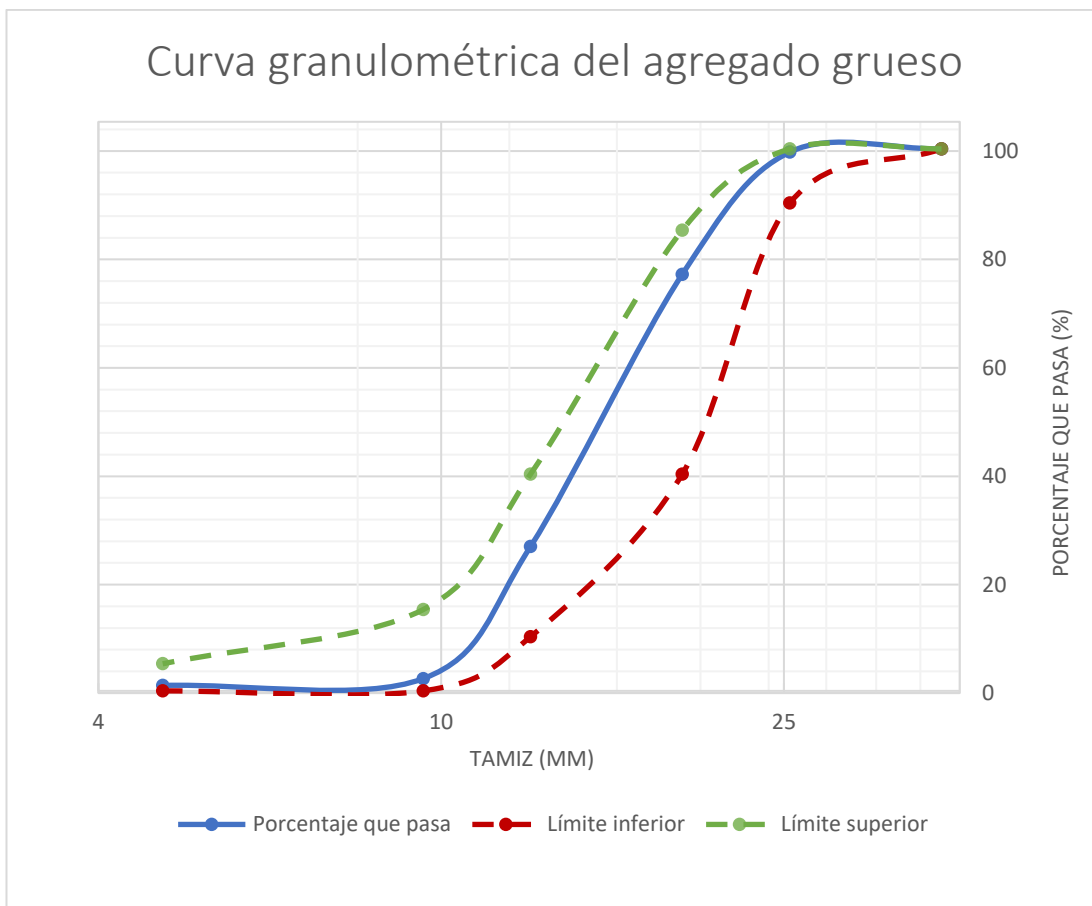


Figura 3. Curva granulométrica del agregado grueso

Fuente: Bryan Paul Salinas Freire

Análisis: De la granulométrica del agregado grueso proveniente de la mina Las Viñas se comprobó que es adecuado para la elaboración de hormigón, ya que la curva granulométrica obtenida se sitúa dentro de los límites especificados en la Tabla 9 de la normativa INEN 872.

- Densidad aparente suelta y compactada del agregado grueso, fino y fino reciclado.

Tabla 10. Densidad aparente suelta y compactada del agregado grueso, fino y fino reciclado.

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO				
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA				
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL				
RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN SIMPLE FABRICADO CON AGREGADO FINO PROVENIENTE DE HORMIGONES RECICLADOS				
DENSIDAD APARENTE SUELTA Y COMPACTADA DEL AGREGADO GRUESO, FINO Y FINO RECICLADO				
Origen:	Mina Las Viñas			
Ensayado por:	Paúl Salinas			
Norma:	NTE INEN 857	Fecha:	13/10/2023	
Masa del recipiente (kg):	9.82	Volumen recipiente (dm³):	20.71	
DENSIDAD SUELTA				
	Agregado + recipiente (kg)	Agregado (kg)	Peso unitario (kg/dm ³)	Peso unitario promedio (kg/dm ³)
Grueso	36.38	26.56	1.282	1.283
	36.39	26.57	1.283	
Fino	38.72	28.9	1.395	1.398
	38.83	29.01	1.401	
Fino reciclado	36.31	26.49	1.279	1.264
	35.70	25.88	1.250	
DENSIDAD COMPACTADA				
	Agregado + recipiente (kg)	Agregado (kg)	Peso unitario (kg/dm ³)	Peso unitario promedio (kg/dm ³)
Grueso	38.69	28.87	1.394	1.393
	38.63	28.81	1.391	
Fino	42.11	32.29	1.559	1.559
	42.12	32.30	1.560	
Fino reciclado	38.91	29.09	1.405	1.401
	38.75	28.93	1.397	

Fuente: Bryan Paul Salinas Freire

Análisis: Los resultados obtenidos muestran similitudes con la investigación realizada por Jagan *et al* [33], evidenciando que la densidad aparente del árido fino reciclado (AFR), ya sea en su estado suelto o compactado, es considerablemente menor en comparación con el árido natural (AN). Esta disparidad se atribuye a la baja densidad del AFR, la cual se debe a la presencia de una mayor cantidad de vacíos causados por el mortero adherido en las partículas.

- Densidad aparente compactada de la mezcla

Tabla 11. Densidad aparente compactada de la mezcla.

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL								
RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN SIMPLE FABRICADO CON AGREGADO FINO PROVENIENTE DE HORMIGONES RECICLADOS								
DENSIDAD APARENTE COMPACTADA DE LA MEZCLA								
Origen:		Mina Las Viñas						
Ensayado por:		Paúl Salinas						
Norma:		NTE INEN 858			Fecha:		13/10/2023	
Masa del recipiente (kg):		9.82			Volumen recipiente (dm ³):		20.71	
% Mezcla		Mezcla (kg)		Agregado fino añadido (kg)	Agregado + Recipiente (kg)	Agregado (kg)	Densidad aparente Mezcla (kg/dm ³)	Densidad aparente promedio (kg/dm ³)
Grueso	Fino	Grueso	Fino	Fino	Agregado grueso + agregado fino			
100%	0%	40.00	0.00	0.00	38.76	28.94	1.397	1.398
					38.78	28.96	1.398	
90%	10%	40.00	4.44	4.44	41.14	31.32	1.512	1.514
					41.24	31.42	1.517	
80%	20%	40.00	10.00	5.56	44.04	34.22	1.652	1.651
					43.99	34.17	1.650	
70%	30%	40.00	17.14	7.14	45.94	36.12	1.744	1.743
					45.91	36.09	1.743	
60%	40%	40.00	26.67	9.53	47.28	37.46	1.809	1.808
					47.26	37.44	1.808	
50%	50%	40.00	40.00	13.33	46.94	37.12	1.792	1.790
					46.84	37.02	1.788	
40%	60%	40.00	60.00	20.00	46.23	36.41	1.758	1.759
					46.27	36.45	1.760	

Fuente: Bryan Paul Salinas Freire

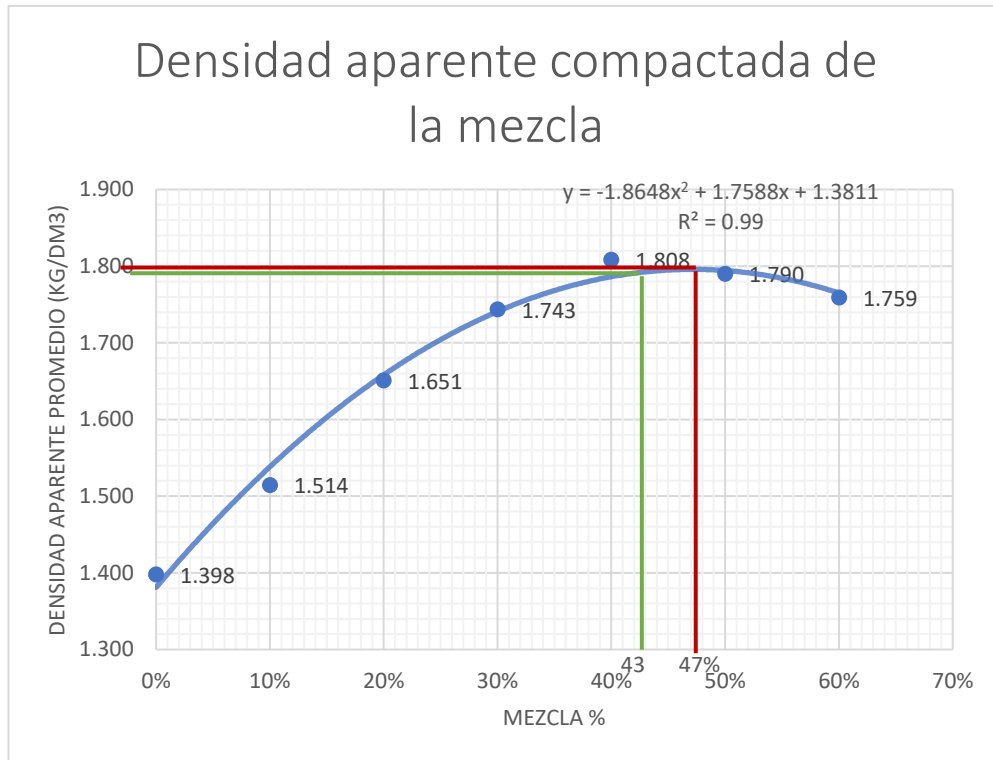


Figura 4. Densidad aparente compactada de la mezcla

Fuente: Bryan Paul Salinas Freire

Tabla 12. Porcentaje máximo y óptimo de los agregados

PORCENTAJE MÁXIMO DE AGREGADO FINO (%)	47	%
PORCENTAJE MÁXIMO DE AGREGADO GRUESO (%)	53	%
PORCENTAJE ÓPTIMO DE AGREGADO FINO (%)	43	%
PORCENTAJE ÓPTIMO DE AGREGADO GRUESO (%)	57	%
PESO UNITARIO MÁXIMO (gr/cm ³)	1.796	kg/dm ³
PESO UNITARIO ÓPTIMO (gr/cm ³)	1.793	kg/dm ³

Fuente: Bryan Paul Salinas Freire

Análisis: Mediante el ensayo de densidad combinada compactada, se estableció que el porcentaje óptimo para el agregado fino es del 43%, mientras que para el agregado grueso es del 57%. La determinación del peso unitario máximo y el peso unitario óptimo se llevó a cabo mediante la representación gráfica de la densidad aparente compactada frente al porcentaje óptimo de la mezcla, arrojando valores de 1.796 gr/cm³ y 1.793 gr/cm³, respectivamente.

- Densidad real y capacidad de absorción del agregado grueso

Tabla 13. Densidad real y capacidad de absorción del agregado fino.

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL				
RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN SIMPLE FABRICADO CON AGREGADO FINO PROVENIENTE DE HORMIGONES RECICLADOS				
DENSIDAD REAL Y CAPACIDAD DE ABSORCIÓN DEL AGREGADO GRUESO				
Origen:	Mina Las Viñas			
Ensayado por:	Paúl Salinas			
Norma:	NTE INEN 857	Fecha:	23/10/2023	
DENSIDAD REAL DEL AGREGADO				
Datos	Descripción	Unidad	Valor	
M1	Masa de la canastilla en el aire	gr	1218	
M2	Masa de la canastilla en el agua	gr	1015	
M3	Masa canastilla+Muestra SSS en el aire	gr	11372	
M4	Masa canastilla+Muestra SSS en el agua	gr	6915	
DA	Densidad real del agua	gr/cm ³	1	
M5=M3-M1	Masa de la muestra SSS en el aire	gr	10154	
M6=M4-M2	Masa de la muestra SSS en el agua	gr	5900	
VRM=(M5-M6)/DA	Volumen real de la muestra	cm ³	4254	
DRR=M5/VRM	Densidad real del ripio	gr/cm ³	2.390	
CAPACIDAD DE ABSORCIÓN DEL AGREGADO				
Datos	Descripción	Unidad	Valor	
M7	Masa del recipiente	gr	207	240
M8	Masa del recipiente+muestra SSS	gr	10546	10496
M9=M8-M7	Masa de la muestra SSS	gr	10339	10256
M10	Masa del recipiente+muestra seca	gr	10171	10119
M11=M10-M7	Masa de la muestra seca	gr	9964	9879
CA=((M9-M11)/M11)*100	Capacidad de absorción	%	3.76	3.82
CAP=(CA+CA2)/2	Capacidad de absorción promedio	%	3.79	

Fuente: Bryan Paul Salinas Freire

Análisis: Se obtuvo una densidad real del ripio de 2.390 cm³ y una capacidad de absorción del 3.79%, cumpliendo con el rango estipulado de 0.2% a 4%.

- Densidad real y capacidad de absorción del agregado fino

Tabla 14. Densidad real y capacidad de absorción del agregado fino.

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL				
RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN SIMPLE FABRICADO CON AGREGADO FINO PROVENIENTE DE HORMIGONES RECICLADOS				
DENSIDAD REAL Y CAPACIDAD DE ABSORCIÓN DEL AGREGADO FINO				
Origen:	Mina Las Viñas			
Ensayado por:	Paúl Salinas			
Norma:	NTE INEN 856	Fecha:	23/10/2023	
DENSIDAD REAL DEL AGREGADO FINO				
Datos	Descripción	Unidad	Valor	
M1	Masa del picnómetro	gr	150.24	
M2	Masa del picnómetro + muestra SSS	gr	650.18	
M3	Masa del picnómetro+ muestra SSS + agua	gr	937.1	
M4=M3-M2	Masa de agua añadida	gr	286.92	
M5	Masa del picnómetro+500cc de agua	gr	648.41	
M6=M5-M1	Masa de 500cc de agua	gr	498.17	
DA=M6/500cm ³	Densidad del agua	gr/cm ³	0.996	
M7=M6-M4	Masa del agua desalojada por la muestra	gr	211.25	
M _{sss} =M2-M1	Masa del agregado	gr	499.94	
V _{sss} =M7/DA	Volumen del agua desalojada	cm ³	212.03	
DRA=M _{sss} /V _{sss}	Densidad real de la arena	gr/cm ³	2.360	
CAPACIDAD DE ABSORCIÓN DEL AGREGADO FINO				
Datos	Descripción	Unidad	Valor	
M8	Masa del recipiente	gr	25.87	25.54
M9	Masa del recipiente + muestra SSS	gr	525.30	525.05
M10=M9-M8	Masa de la muestra SSS	gr	499.43	499.51
M11	Masa del recipiente + muestra seca	gr	520.68	520.06
M12=M11-M8	Masa de la muestra seca	gr	494.81	494.52
CA=((M10-M12)/M12)*100	Capacidad de absorción	%	0.93	1.01
CAP=(CA+CA2)/2	Capacidad de absorción promedio	%	0.97	

Fuente: Bryan Paul Salinas Freire

Análisis: Se obtuvo una densidad real de la arena de 2.360 cm³ y una capacidad de absorción del 0.97%, cumpliendo con el rango estipulado de 0.2% a 2%.

- Densidad real y capacidad de absorción del agregado fino reciclado

Tabla 15. Densidad real y capacidad de absorción del agregado fino reciclado.

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL			
RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN SIMPLE FABRICADO CON AGREGADO FINO PROVENIENTE DE HORMIGONES RECICLADOS			
DENSIDAD REAL Y CAPACIDAD DE ABSORCIÓN DEL AGREGADO FINO RECICLADO			
Origen:	Mina Las Viñas		
Ensayado por:	Paúl Salinas		
Norma:	NTE INEN 856	Fecha:	23/10/2023
DENSIDAD REAL DEL AGREGADO FINO RECICLADO			
Datos	Descripción	Unidad	Valor
M1	Masa del picnómetro	gr	146.24
M2	Masa del picnómetro + muestra SSS	gr	646.08
M3	Masa del picnómetro + muestra SSS + agua	gr	919.16
M4=M3-M2	Masa de agua añadida	gr	273.08
M5	Masa del picnómetro+500cc de agua	gr	644.78
M6=M5-M1	Masa de 500cc de agua	gr	498.54
DA=M6/500cm ³	Densidad del agua	gr/cm ³	0.997
M7=M6-M4	Masa del agua desalojada por la muestra	gr	225.46
Msss=M2-M1	Masa del agregado	gr	499.84
Vsss=M7/DA	Volumen del agua desalojada	cm ³	226.12
DRA=Msss/Vsss	Densidad real de la arena	gr/cm ³	2.210
CAPACIDAD DE ABSORCIÓN DEL AGREGADO FINO RECICLADO			
Datos	Descripción	Unidad	Valor
M8	Masa del recipiente	gr	25.93
M9	Masa del recipiente + muestra SSS	gr	525.23
M10=M9-M8	Masa de la muestra SSS	gr	499.30
M11	Masa del recipiente + muestra seca	gr	492.97
M12=M11-M8	Masa de la muestra seca	gr	467.04
CA=((M10- M12)/M12)*100	Capacidad de absorción	%	6.91
CAP=(CA+CA2)/2	Capacidad de absorción promedio	%	6.97

Fuente: Bryan Paul Salinas Freire

Análisis: Los resultados obtenidos muestran similitudes con la investigación realizada por Jagan *et al* [33], evidenciando que la capacidad de absorción del árido fino

reciclado (AFR), es considerablemente mayor en comparación con el árido fino natural (AFN). Esta disparidad se atribuye al mortero adherido el cual absorbe una mayor cantidad de agua.

- Contenido de humedad

Tabla 16. Contenido de humedad

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL						
RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN SIMPLE FABRICADO CON AGREGADO FINO PROVENIENTE DE HORMIGONES RECICLADOS						
CONTENIDO DE HUMEDAD						
Origen:	Mina Las Viñas					
Ensayado por:	Paúl Salinas					
Norma	NTE INEN 862			Fecha:	24/10/2023	
CONTENIDO DE HUMEDAD DE LOS AGREGADOS FINO Y GRUESO						
Datos	Descripción	Unidad	Agregado Grueso		Agregado Fino	
M1	Masa del recipiente	gr	274.32	253.38	245.59	261.74
M2	Masa del recipiente+muestra húmeda	gr	4273.08	4256.07	752.56	763.07
M3	Masa del recipiente+muestra seca	gr	4253.67	4223.99	718.48	739.27
M4=M2-M3	Masa del agua	gr	19.41	32.08	34.08	23.8
M5=M3-M1	Masa de la muestra seca	gr	3979.35	3970.61	472.89	477.53
CH=(M4/M5)*100	Contenido de humedad	%	0.49	0.81	7.21	4.98
CHP	Contenido de humedad promedio	%	0.65		6.10	

Fuente: Bryan Paul Salinas Freire

Análisis: Se determinó que el contenido de humedad en estado natural del ripio era de 0.65%, mientras que, en el caso de la arena, este valor ascendía a un 6.1%

- Densidad real del cemento

Tabla 17. Densidad real del cemento

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL				
RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN SIMPLE FABRICADO CON AGREGADO FINO PROVENIENTE DE HORMIGONES RECICLADOS				
DENSIDAD REAL DEL CEMENTO				
Origen:	Cemento Holcim Fuerte Tipo GU			
Ensayado por:	Paúl Salinas			
Norma	NTE INEN 156	Fecha:	30/10/2023	
DENSIDAD REAL DEL AGREGADO				
DATOS	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	VALOR	
M1	Masa del picnómetro	gr	152.272	152.163
M2	Masa del picnómetro + cemento	gr	252.530	253.285
M3	Masa del picnómetro + cemento + gasolina	gr	592.713	592.354
M4=M3-M2	Masa de gasolina añadida	gr	340.183	339.069
M5	Masa del picnómetro+500cm ³ de gasolina	gr	519.325	519.581
M6=M5-M1	Masa de 500cm ³ de gasolina	gr	367.053	367.418
DA=M6/500cm ³	Densidad de la gasolina	gr/cm ³	0.734	0.735
M7=M6-M4	Masa de la gasolina desalojada por el cemento	gr	26.870	28.349
Msss=M2-M1	Masa del cemento	gr	100.258	101.122
Vsss=M7/DA	Volumen de gasolina desalojada	cm ³	36.602	38.579
DRA=Msss/Vsss	Densidad real del cemento	gr/cm ³	2.680	

Fuente: Bryan Paul Salinas Freire

Análisis: La densidad real del cemento Holcim Fuerte Tipo Gu fue de 2.68 gr/cm³

3.1.2 Resultado Fase 2

-Método de las densidades óptimas

Se presentan un resumen de los datos obtenido de los materiales, con los que se procedió a calcular la dosificación de 210 kg/cm² y de 240 kg/cm² por el método de densidades óptimas, y finalmente mostrar la dosificación al peso.

Se presentan un resumen de los datos obtenido de los materiales, con los que se procedió a calcular la dosificación de 210 kg/cm² y de 240 kg/cm² por el método de densidades óptimas, y finalmente mostrar la dosificación al peso por cada variación de agregado fino reciclado.

-Dosificación para un diseño de 210 kg/cm²

Tabla 18. Resumen ensayos preliminares para el método de densidades óptimas 210kg/cm²

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL					
RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN SIMPLE FABRICADO CON AGREGADO FINO PROVENIENTE DE HORMIGONES RECICLADOS					
DOSIFICACIÓN MÉTODO DE DENSIDAD OPTIMA					
Origen:	Mina Las Viñas				
Ensayado por:	Paúl Salinas	Fecha:	5/11/2023		
Datos de ensayo			Datos de Tablas		
f'c	210	kg/cm ²	W/C	0.58	
Asentamiento	6-9	cm	CP %	POV +2% +8% (POV)	
DRC	2.68	gr/cm ³	Cálculos		
DRA	2.36	gr/cm ³	DRM	2.38	kg/dm ³
DRR	2.39	gr/cm ³	POV	24.59	%
DSA	1.40	gr/cm ³	CP	285.57	dm ³
DSR	1.28	gr/cm ³	C	299.61	kg
POA	43	%	W	173.78	lts
POR	57	%	A	725.01	kg
DOM	1.79	gr/cm ³	R	973.27	kg

Fuente: Bryan Paul Salinas Freire

Tabla 19. Dosificación al peso hormigón de 210 kg/cm²

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL			
RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN SIMPLE FABRICADO CON AGREGADO FINO PROVENIENTE DE HORMIGONES RECICLADOS			
DOSIFICACION MÉTODO DE LA UNIVERSIDAD CENTRAL			
Origen:	Mina Las Viñas		
Ensayado por:	Paúl Salinas	Fecha:	5/11/2023
DOSIFICACIÓN AL PESO HORMIGÓN DE 210 kg/cm ²			
Material	Peso (kg) por m ³ de hormigón	Dosificación al peso	
Agua (W)	173.78	0.58	
Cemento (C)	299.61	1.00	
Arena (A)	725.01	2.42	
Ripio (R)	973.27	3.25	
TOTAL	2171.67	Densidad del Horm. (kg/m ³)	

Fuente: Bryan Paul Salinas Freire

Tabla 20. Corrección por humedad dosificación 210 kg/cm²

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL						
RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN SIMPLE FABRICADO CON AGREGADO FINO PROVENIENTE DE HORMIGONES RECICLADOS						
Origen:	Mina Las Viñas	Norma:	NTE INEN 862			
Ensayado por:	Paúl Salinas	Fecha:	5/11/2023			
CORRECCIÓN POR HUMEDAD						
Material	Dosificación al peso	Dosificación para cilindros (kg)	Humedad %	Absorción %	Aporte de humedad (kg)	Peso corregido cilindros (kg)
Agua (W)	0.58	2.58	-	-	0.098	2.48
Cemento (C)	1.00	4.45	-	-		4.45
Arena (A)	2.42	10.76	6.10	0.97	0.552	11.42
Ripio (R)	3.25	14.45	0.65	3.79	-0.454	14.54

Fuente: Bryan Paul Salinas Freire

Análisis: Con base en los datos de contenido de humedad y los porcentajes de absorción obtenidos en la fase uno, se llevó a cabo el cálculo corrección de humedad a la mezcla por los agregados, así como la determinación de su nuevo peso. En este

caso, la aportación de agua a la mezcla fue de 0.098 kg. Cabe resaltar que este cálculo se realizó bajo la consideración de que los agregados no se encontraban en un estado de saturación superficialmente seco.

-Dosificación para un diseño de 240 kg/cm²

Tabla 21. Resumen ensayos preliminares para el método de densidades óptimas 240 kg/cm²

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO					
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL V MECÁNICA					
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL					
RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN SIMPLE FABRICADO					
CON AGREGADO FINO PROVENIENTE DE HORMIGONES RECICLADOS					
DOSIFICACIÓN MÉTODO DE DENSIDAD ÓPTIMA					
Origen:	Mina Las Viñas				
Ensayado por:	Paúl Salinas	Fecha:	5/11/2023		
Datos de ensayo			Datos de Tablas		
f'c	240	kg/cm ²	W/C	0.56	
Asentamiento	6-9	cm	CP %	POV +2% +8% (POV)	
DRC	2.68	gr/cm ³	Cálculos		
DRA	2.36	gr/cm ³	DRM	2.38	kg/dm ³
DRR	2.39	gr/cm ³	POV	24.59	%
DSA	1.40	gr/cm ³	CP	285.57	dm ³
DSR	1.28	gr/cm ³	C	306.04	kg
POA	43	%	W	171.38	lts
POR	57	%	A	725.01	kg
DOM	1.79	gr/cm ³	R	973.27	kg

Fuente: Bryan Paul Salinas Freire

Tabla 22. Dosificación al peso de 240kg/cm²

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL			
RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN SIMPLE FABRICADO CON AGREGADO FINO PROVENIENTE DE HORMIGONES RECICLADOS			
DOSIFICACION MÉTODO DE LA UNIVERSIDAD CENTRAL			
Origen:	Mina Las Viñas		
Ensayado por:	Paúl Salinas	Fecha:	5/11/2023
DOSIFICACIÓN AL PESO HORMIGÓN DE 240 kg/cm ²			
Material	Peso (kg) por m ³ de hormigón	Dosificación al peso	
Agua (W)	171.38	0.56	
Cemento (C)	306.04	1.00	
Arena (A)	725.01	2.37	
Ripio (R)	973.27	3.18	
TOTAL	2175.70	Densidad del Horm. (kg/m ³)	

Fuente: Bryan Paul Salinas Freire

Tabla 23. Corrección por humedad dosificación 240 kg/cm²

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL						
RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN SIMPLE FABRICADO CON AGREGADO FINO PROVENIENTE DE HORMIGONES RECICLADOS						
Origen:	Mina Las Viñas	Norma:	NTE INEN 862			
Ensayado por:	Paúl Salinas	Fecha:	5/11/2023			
CORRECCIÓN POR HUMEDAD						
Material	Dosificación al peso	Dosificación para cilindros (kg)	Humedad %	Absorción %	Aporte de humedad (kg)	Peso corregido cilindros (kg)
Agua (W)	0.56	2.54	-	-	0.098	2.45
Cemento (C)	1.00	4.54	-	-		4.54
Arena (A)	2.37	10.76	6.10	0.97	0.552	10.87
Ripio (R)	3.18	14.45	0.65	3.79	-0.454	14.99

Fuente: Bryan Paul Salinas Freire

Análisis: En este caso se obtuvo un aporte de agua similar a la otra dosificación de 0.098 kg.

-Probetas finales

Se llevo cabo el cálculo del material requerido para la fabricación de las 108 probetas, realizando el reemplazo al peso como se indica a continuación:

$$\text{Total de Agregado fino} = 10.87 \text{ kg}$$

$$10\% \text{ de Agregado fino recilado} = 10.87 \text{ kg} * 10\% = 1.09 \text{ kg}$$

$$\text{Agregado fino} = 10.87 \text{ kg} - 1.09 \text{ kg} = 9.78 \text{ kg}$$

Estos cálculos se realizaron para obtener los valores de los demás porcentajes de reemplazo, los cuales se presentan en la Tabla 22 y Tabla 23.

Tabla 24. Dosificaciones de las probetas definitivas de 210 kg/cm²

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL								
RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN SIMPLE FABRICADO CON AGREGADO FINO PROVENIENTE DE HORMIGONES RECICLADOS								
Origen:		Mina Las Viñas	Método de Densidades Óptimas					
Ensayado por:		Paúl Salinas	Fecha:		5/11/2023			
Dosificación al peso de hormigón reciclado 210 kg/cm ²								
Material	Unidad	Base	Agregado Reciclado %					Total
			10	15	30	60	100	
Agua (W)	kg	2.68	2.68	2.68	2.68	2.68	2.68	13.39
Cemento (C)	kg	4.45	4.45	4.45	4.45	4.45	4.45	22.24
Arena (A)	kg	10.87	9.78	9.24	7.61	4.35	-	30.97
Arena reciclada (AR)	kg	-	1.09	1.63	3.26	6.52	10.87	23.36
Ripio (R)	kg	14.99	14.99	14.99	14.99	14.99	14.99	74.97

Fuente: Bryan Paul Salinas Freire

Tabla 25. . Dosificaciones de las probetas definitivas de 210 kg/cm²

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL								
RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN SIMPLE FABRICADO CON AGREGADO FINO PROVENIENTE DE HORMIGONES RECICLADOS								
Origen:		Mina Las Viñas	Método de Densidades Óptimas					
Ensayado por:		Paúl Salinas	Fecha:		5/11/2023			
Dosificación al peso de hormigón reciclado 240 kg/cm ²								Total
Material	Unidad	Base	Agregado Reciclado %					
			10	15	30	60	100	
Agua (W)	kg	2.64	2.64	2.64	2.64	2.64	2.64	13.21
Cemento (C)	kg	4.54	4.54	4.54	4.54	4.54	4.54	22.71
Arena (A)	kg	10.87	9.78	9.24	7.61	4.35	0.00	30.97
Arena reciclada (AR)	kg	-	1.09	1.63	3.26	6.52	10.87	23.36
Ripio (R)	kg	14.99	14.99	14.99	14.99	14.99	14.99	74.97

Fuente: Bryan Paul Salinas Freire

Análisis: La cantidad total ocupada de arena reciclada durante la fabricación de las probetas fue de 46.72 kg.

-Propiedades en estado fresco

-Trabajabilidad, Asentamiento, Homogeneidad y Consistencia

Las propiedades en estado fresco del hormigón base y el producido con sustitución de agregado reciclado para las dosificaciones de 210 kg/cm² y de 240 kg/cm² se presentan en las Tablas 26 y 27.

Tabla 26. Propiedades del hormigón en estado fresco $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL						
RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN SIMPLE FABRICADO CON AGREGADO FINO PROVENIENTE DE HORMIGONES RECICLADOS						
Origen:		Mina Las Viñas	NTE INEN 1578			
Ensayado por:		Paúl Salinas	Fecha:		5/11/2023	
Propiedades del hormigón en estado fresco $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$						
Propiedad	Base	Agregado Reciclado %				
		10	15	30	60	100
Trabajabilidad	B	B	B	B	B	R
Asentamiento (cm)	8.00	8.00	7.50	7.50	7.00	7.00
Homogeneidad	MB	MB	MB	MB	MB	B
Consistencia	Blanda	Blanda	Blanda	Blanda	Blanda	Blanda

Fuente: Bryan Paul Salinas Freire

Análisis: Se realizaron evaluaciones de las propiedades en estado fresco de los cilindros donde se observa que la mayoría presenta una trabajabilidad buena y una homogeneidad muy buena, exceptuando el reemplazo del 100% donde la trabajabilidad fue de regular y una homogeneidad buena, de igual manera se observa que el asentamiento de hormigón con 100% de agregado fino reciclado disminuye su en 1 cm, finalmente todos presentan una consistencia blanda

Tabla 27. Propiedades del hormigón en estado fresco $f'c= 240 \text{ kg/cm}^2$

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL						
RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN SIMPLE FABRICADO CON AGREGADO FINO PROVENIENTE DE HORMIGONES RECICLADOS						
Origen:	Mina Las Viñas	NTE INEN 1578				
Ensayado por:	Paúl Salinas	Fecha:	5/11/2023			
Propiedades del hormigón en estado fresco $f'c= 240 \text{ kg/cm}^2$						
Propiedad	Base	Agregado Reciclado %				
		10	15	30	60	100
Trabajabilidad	B	B	B	B	R	R
Asentamiento (cm)	7.50	7.00	7.50	7.00	6.50	6.50
Homogeneidad	MB	MB	MB	MB	B	B
Consistencia	Blanda	Blanda	Blanda	Blanda	Blanda	Blanda

Fuente: Bryan Paul Salinas Freire

Análisis: En esta resistencia se observa que la trabajabilidad y la homogeneidad se mantienen como buena y muy buena respectivamente hasta el 30%, y para el 60% y 100% la trabajabilidad pasa a regular y la homogeneidad a buena, se observa que el asentamiento ha disminuido en comparación con la resistencia de 210 kg/cm^2 , pero aun así se encuentra dentro del rango de 6 a 9 por lo que su consistencia igual es blanda para todos

-Densidad del hormigón en estado fresco y seco

Tabla 28. Densidad del hormigón en estado fresco y endurecido $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL									
RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN SIMPLE FABRICADO CON AGREGADO FINO PROVENIENTE DE HORMIGONES RECICLADOS									
DENSIDAD DEL HORMIGÓN EN ESTADO FRESCO Y ENDURECIDO									
Ensayado por:		Paúl Salinas							
Norma:		NTE INEN 1579				Fecha:		30/11/2023	
Probetas de $f'c \text{ 210 kg/cm}^2$									
Diámetro:	(cm)	10		Altura:	(cm)	20	Volumen:	(m3)	0.0016
#Cilindro	Reemplazo de agregado fino reciclado %	Peso Molde (kg)	Peso molde + hormigón (kg)	Peso probeta fresco (kg)	Peso probeta endurecida (kg)	Densidad estado fresco (kg/m^3)	Densidad promedio estado fresco (kg/m^3)	Densidad estado endurecido (kg/m^3)	Densidad promedio estado endurecido (kg/m^3)
1	Base	7.694	11.204	3.510	3.462	2234.54	2240.90	2203.98	2207.87
2		7.742	11.242	3.500	3.452	2228.17		2197.61	
3		7.735	11.297	3.562	3.484	2267.64		2217.98	
4		7.771	11.309	3.538	3.498	2252.36		2226.90	
5		7.711	11.219	3.508	3.463	2233.26		2204.61	
6		7.779	11.284	3.505	3.467	2231.35		2207.16	

7		7.716	11.271	3.555	3.491	2263.18		2222.44	
8		7.694	11.197	3.503	3.446	2230.08		2193.79	
9		7.705	11.204	3.499	3.45	2227.53		2196.34	
1	10	7.691	11.216	3.525	3.441	2244.08	2239.56	2190.61	2204.33
2		7.752	11.275	3.523	3.458	2242.81		2201.43	
3		7.770	11.286	3.516	3.469	2238.36		2208.43	
4		7.697	11.215	3.518	3.474	2239.63		2211.62	
5		7.707	11.203	3.496	3.46	2225.62		2202.70	
6		7.764	11.277	3.513	3.464	2236.45		2205.25	
7		7.748	11.286	3.538	3.446	2252.36		2193.79	
8		7.680	11.203	3.523	3.478	2242.81		2214.16	
9		7.762	11.271	3.509	3.473	2233.90		2210.98	
1	15	7.733	11.251	3.518	3.48	2239.63	2243.59	2215.44	2209.78
2		7.641	11.169	3.528	3.459	2245.99		2202.07	
3		7.682	11.196	3.514	3.461	2237.08		2203.34	
4		7.685	11.197	3.512	3.472	2235.81		2210.34	
5		7.680	11.187	3.507	3.467	2232.63		2207.16	
6		7.673	11.179	3.506	3.463	2231.99		2204.61	
7		7.656	11.164	3.508	3.478	2233.26		2214.16	
8		7.663	11.229	3.566	3.483	2270.19		2217.35	
9		7.645	11.204	3.559	3.477	2265.73		2213.53	
1	30	7.663	11.184	3.521	3.481	2241.54	2233.97	2216.07	2204.19
2		7.709	11.209	3.500	3.461	2228.17		2203.34	
3		7.704	11.209	3.505	3.443	2231.35		2191.88	

4		7.660	11.176	3.516	3.477	2238.36		2213.53	
5		7.653	11.151	3.498	3.475	2226.90		2212.25	
6		7.669	11.199	3.530	3.467	2247.27		2207.16	
7		7.754	11.259	3.505	3.466	2231.35		2206.52	
8		7.750	11.220	3.470	3.400	2209.07		2164.51	
9		7.731	11.268	3.537	3.491	2251.72		2222.44	
1	60	7.766	11.274	3.508	3.441	2233.26	2229.58	2190.61	2194.92
2		7.711	11.207	3.496	3.435	2225.62		2186.79	
3		7.684	11.185	3.501	3.447	2228.81		2194.43	
4		7.692	11.201	3.509	3.454	2233.90		2198.88	
5		7.722	11.203	3.481	3.445	2216.07		2193.16	
6		7.761	11.237	3.476	3.443	2212.89		2191.88	
7		7.680	11.226	3.546	3.465	2257.45		2205.89	
8		7.780	11.265	3.485	3.442	2218.62		2191.25	
9		7.771	11.289	3.518	3.458	2239.63		2201.43	
1	100	7.758	11.215	3.457	3.414	2200.79	2210.56	2173.42	2178.44
2		7.695	11.150	3.455	3.388	2199.52		2156.87	
3		7.716	11.168	3.452	3.41	2197.61		2170.87	
4		7.756	11.193	3.437	3.405	2188.06		2167.69	
5		7.722	11.215	3.493	3.427	2223.71		2181.70	
6		7.668	11.211	3.543	3.491	2255.54		2222.44	
7		7.653	11.135	3.482	3.446	2216.71		2193.79	
8		7.667	11.163	3.496	3.418	2225.62		2175.97	
9		7.698	11.134	3.436	3.398	2187.43		2163.23	

Fuente: Bryan Paul Salinas Freire

Análisis: En la Tabla 28 se presenta las densidades obtenidas en estado fresco y endurecido del hormigón, se obtuvieron los siguientes resultados: Para el hormigón base la densidad media en estado fresco fue de 2240.90 kg/m³ y endurecido fue de 2207.87 kg/m³, en 10 % estado fresco de 2239.56 kg/m³ y endurecido fue de 2204.33 kg/m³, en 15 % estado fresco de 2243.59kg/m³ y endurecido fue de 2209.78 kg/m³, en 30 % estado fresco de 2233.97 kg/m³ y endurecido fue de 2204.19 kg/m³, en 60 % estado fresco de 2229.58 kg/m³ y endurecido fue de 2194.92 kg/m³, en 100 % estado fresco de 2210.55 kg/m³ y endurecido fue de 2178.44 kg/m³.

Tabla 29. Densidades promedio del hormigón de 210 kg/cm²

Densidades promedio hormigón reciclado 210 kg/cm²					
	Agregado Reciclado				
Base	10%	15%	30%	60%	100%
Densidad estado fresco					
Densidad kg/m ³	Densidad kg/m ³	Densidad kg/m ³	Densidad kg/m ³	Densidad kg/m ³	Densidad kg/m ³
2240.90	2239.56	2243.59	2233.97	2229.58	2210.56
100.00%	99.94%	100.12%	99.69%	99.49%	98.65%
Variación con respecto al hormigón base					
0.00%	0.06%	0.12%	0.31%	0.51%	1.35%
Densidad estado endurecido					
Densidad kg/m ³	Densidad kg/m ³	Densidad kg/m ³	Densidad kg/m ³	Densidad kg/m ³	Densidad kg/m ³
2207.87	2204.33	2209.78	2204.19	2194.92	2178.44
100.00%	99.84%	100.09%	99.83%	99.41%	98.67%
Variación con respecto al hormigón base					
0.00%	0.16%	0.09%	0.17%	0.59%	1.33%

Fuente: Bryan Paul Salinas Freire

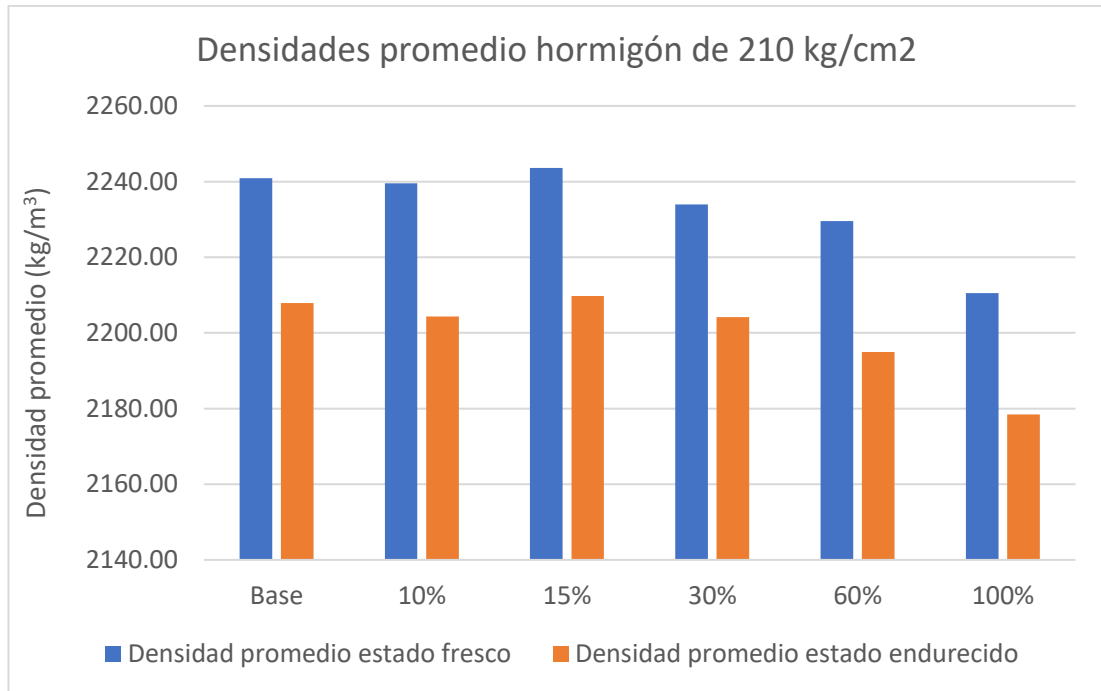


Figura 5. Densidades promedio hormigón de 210 kg/cm2

Análisis: Al revisar la Tabla 29 y la Figura 5 se evidencia una tendencia a la reducción de la densidad promedio tanto en el estado fresco como en el endurecido. Esta tendencia es especialmente notoria en el concreto con un 60% de agregado reciclado, donde se observa una disminución del 0.51% en estado fresco y del 0.59% en estado endurecido. De manera similar, en el caso del 100%, se registra una disminución del 1.35% en estado fresco y del 1.33% en estado endurecido.

-Densidad del hormigón en estado fresco y seco

Tabla 30. Densidad del hormigón en estado fresco y endurecido $f'c=240$ kg/cm²

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO									
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA									
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL									
RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN SIMPLE FABRICADO CON AGREGADO FINO PROVENIENTE DE HORMIGONES RECICLADOS									
DENSIDAD DEL HORMIGÓN EN ESTADO FRESCO Y ENDURECIDO									
Ensayado por:		Paúl Salinas							
Norma:		NTE INEN 1579				Fecha: 30/11/2023			
Probetas de $f'c$ 240 kg/cm ²									
Diámetro:	(cm)	10		Altura:	(cm)	20	Volumen:	(m ³)	0.0016
0	Reemplazo de agregado fino reciclado %	Peso Molde (kg)	Peso molde + hormigón (kg)	Peso probeta fresco (kg)	Peso probeta endurecida (kg)	Densidad estado fresco (kg/m ³)	Densidad promedio estado fresco (kg/m ³)	Densidad estado endurecido (kg/m ³)	Densidad promedio estado endurecido (kg/m ³)
1	Base	7.736	11.231	3.495	3.464	2224.99	2244.08	2205.25	2213.10
2		7.694	11.257	3.563	3.474	2268.28		2211.62	
3		7.686	11.214	3.528	3.468	2245.99		2207.80	
4		7.702	11.212	3.510	3.475	2234.54		2212.25	
5		7.657	11.153	3.496	3.459	2225.62		2202.07	
6		7.653	11.201	3.548	3.491	2258.73		2222.44	

7		7.713	11.248	3.535	3.492	2250.45		2223.08	
8		7.651	11.181	3.530	3.485	2247.27		2218.62	
9		7.695	11.215	3.520	3.479	2240.90		2214.80	
1	10	7.751	11.224	3.473	3.463	2210.98	2241.47	2204.61	2207.94
2		7.700	11.240	3.540	3.454	2253.63		2198.88	
3		7.725	11.226	3.501	3.461	2228.81		2203.34	
4		7.728	11.257	3.529	3.457	2246.63		2200.79	
5		7.734	11.285	3.551	3.49	2260.64		2221.80	
6		7.761	11.273	3.512	3.48	2235.81		2215.44	
7		7.713	11.218	3.505	3.462	2231.35		2203.98	
8		7.681	11.244	3.563	3.478	2268.28		2214.16	
9		7.656	11.170	3.514	3.469	2237.08		2208.43	
1	15	7.710	11.240	3.530	3.462	2247.27	2242.74	2203.98	2208.58
2		7.714	11.202	3.488	3.431	2220.53		2184.24	
3		7.694	11.192	3.498	3.442	2226.90		2191.25	
4		7.799	11.250	3.451	3.379	2196.97		2151.14	
5		7.671	11.175	3.504	3.442	2230.72		2191.25	
6		7.689	11.257	3.568	3.53	2271.46		2247.27	
7		7.651	11.183	3.532	3.495	2248.54		2224.99	
8		7.705	11.277	3.572	3.525	2274.01		2244.08	
9		7.650	11.213	3.563	3.517	2268.28		2238.99	
1	30	7.755	11.279	3.524	3.489	2243.45	2241.18	2221.17	2206.81
2		7.768	11.278	3.510	3.477	2234.54		2213.53	
3		7.697	11.221	3.524	3.452	2243.45		2197.61	

4		7.710	11.251	3.541	3.458	2254.27		2201.43	
5		7.706	11.234	3.528	3.475	2245.99		2212.25	
6		7.724	11.276	3.552	3.488	2261.27		2220.53	
7		7.727	11.196	3.469	3.4	2208.43		2164.51	
8		7.749	11.271	3.522	3.485	2242.17		2218.62	
9		7.773	11.287	3.514	3.474	2237.08		2211.62	
1	60	7.712	11.214	3.502	3.453	2229.44	2235.95	2198.25	2201.22
2		7.708	11.221	3.513	3.432	2236.45		2184.88	
3		7.650	11.180	3.530	3.457	2247.27		2200.79	
4		7.686	11.200	3.514	3.473	2237.08		2210.98	
5		7.742	11.236	3.494	3.425	2224.35		2180.42	
6		7.774	11.254	3.480	3.449	2215.44		2195.70	
7		7.655	11.190	3.535	3.456	2250.45		2200.16	
8		7.710	11.248	3.538	3.489	2252.36		2221.17	
9		7.706	11.210	3.504	3.485	2230.72		2218.62	
1	100	7.744	11.233	3.489	3.419	2221.17	2231.78	2176.60	2197.82
2		7.745	11.248	3.503	3.448	2230.08		2195.06	
3		7.732	11.226	3.494	3.452	2224.35		2197.61	
4		7.710	11.241	3.531	3.462	2247.90		2203.98	
5		7.717	11.214	3.497	3.447	2226.26		2194.43	
6		7.682	11.200	3.518	3.465	2239.63		2205.89	
7		7.710	11.202	3.492	3.451	2223.08		2196.97	
8		7.703	11.225	3.522	3.458	2242.17		2201.43	
9		7.702	11.207	3.505	3.469	2231.35		2208.43	

Fuente: Bryan Paul Salinas Freire

Análisis: En la Tabla 30 se presenta las densidades obtenidas del hormigón con una resistencia de 240 kg/cm², se obtuvieron los siguientes resultados: Para el hormigón base la densidad media en estado fresco fue de 2244.08 kg/m³ y endurecido fue de 2213.10 kg/m³, en 10 % estado fresco de 2241.47 kg/m³ y endurecido fue de 2207.94 kg/m³, en 15 % estado fresco de 2242.74 kg/m³ y endurecido fue de 2208.58 kg/m³, en 30 % estado fresco de 2241.18 kg/m³ y endurecido fue de 2201.22 kg/m³, en 60 % estado fresco de 2229.58 kg/m³ y endurecido fue de 2194.92 kg/m³, en 100 % estado fresco de 2210.55 kg/m³ y endurecido fue de 2178.44 kg/m³.

Tabla 31. Densidades promedio del hormigón de 240 kg/cm²

Densidades promedio hormigón reciclado 240 kg/cm²					
	Agregado Reciclado				
Base	10%	15%	30%	60%	100%
Densidad estado fresco					
Densidad kg/m ³	Densidad kg/m ³	Densidad kg/m ³	Densidad kg/m ³	Densidad kg/m ³	Densidad kg/m ³
2244.08	2241.47	2242.74	2241.18	2235.950	2231.78
100.00%	99.88%	99.94%	99.87%	99.64%	99.45%
Variación con respecto al hormigón base					
0.00%	0.12%	0.06%	0.13%	0.36%	0.55%
Densidad estado seco					
Densidad kg/m ³	Densidad kg/m ³	Densidad kg/m ³	Densidad kg/m ³	Densidad kg/m ³	Densidad kg/m ³
2213.10	2207.94	2208.58	2206.81	2201.22	2197.82
100.00%	99.77%	99.80%	99.72%	99.46%	99.31%
Variación con respecto al hormigón base					
0.00%	0.23%	0.20%	0.28%	0.54%	0.69%

Fuente: Bryan Paul Salinas Freire

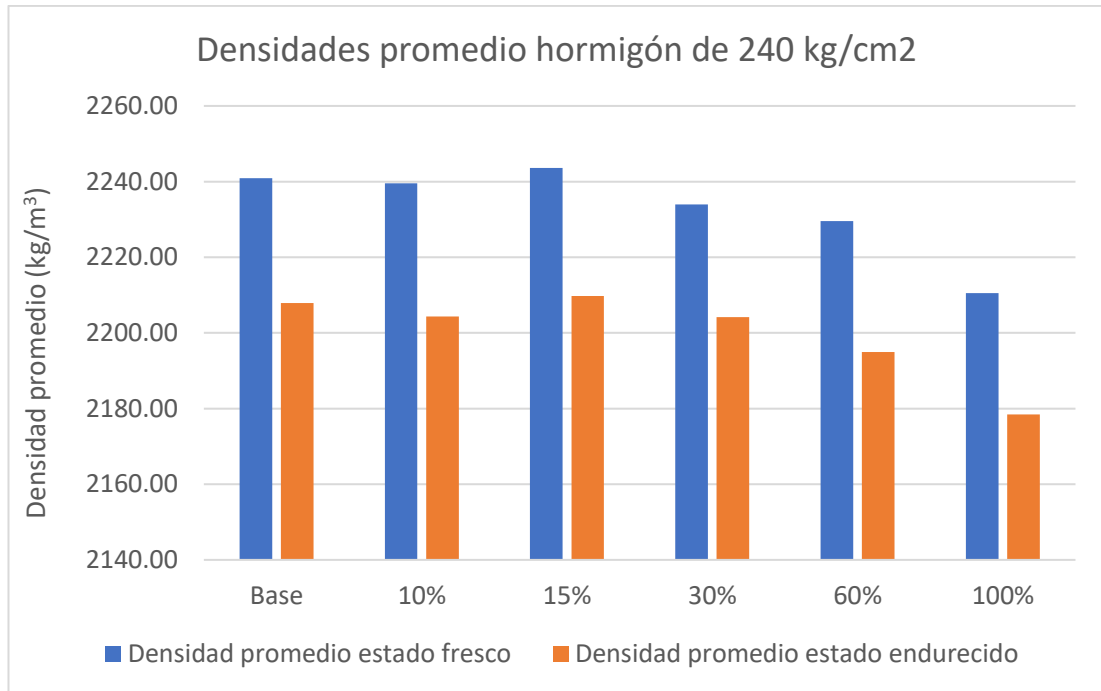


Figura 6. Densidades promedio hormigón de 240 kg/cm2

Análisis: Al revisar la Tabla 30 y Figura 6, se evidencia una reducción de la densidad promedio tanto en el estado fresco como en el endurecido en el concreto con un 60% de agregado reciclado, donde se observa una disminución del 0.36% en estado fresco y del 0.30% en estado endurecido. De manera similar, en el caso del 100%, se registra una disminución del 0.55% en estado fresco y del 0.45% en estado endurecido.

3.1.2 Resultado Fase 3

-Resistencia a compresión a los 7, 14 y 28 días de 210kg/cm²

Tabla 32. Resistencia a compresión a los 7 días de 210kg/cm²

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL							
RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN SIMPLE FABRICADO CON AGREGADO FINO PROVENIENTE DE HORMIGONES RECICLADOS							
RESISTENCIA A COMPRESIÓN A LOS 7 DIAS DE EDAD							
Origen:		Laboratorio de ingeniería civil UTA					
Ensayado por:		Paúl Salinas					
Norma:		NTE INEN 1573		Fecha:		15/12/2023	
Probetas de f'c 210 kg/cm ²							
Numero de Cilindro	% de hormigón reciclado	Área (cm)	Carga P (KN)	Carga P (Kg)	Esf. Compresión (kg/cm ²)	Esf. Compresión promedio (kg/cm ²)	Rangos (kg/cm ²)
1	Base	78.540	119.52	11952	152.18	156.33	R1= 136.5
2		78.540	123.43	12343	157.16		RP=147.0
3		78.540	125.4	12540	159.66		R2=157.5
1	10%	78.540	121.2	12120	154.32	152.05	R1= 136.5
2		78.540	119.35	11935	151.96		RP=147.0
3		78.540	117.72	11772	149.89		R2=157.5
1	15%	78.540	114.84	11484	146.22	148.96	R1= 136.5
2		78.540	117.59	11759	149.72		RP=147.0
3		78.540	118.55	11855	150.94		R2=157.5
1	30%	78.540	111.27	11127	141.67	142.89	R1= 136.5
2		78.540	112.37	11237	143.07		RP=147.0
3		78.540	113.04	11304	143.93		R2=157.5
1	60%	78.540	106.82	10682	136.01	135.52	R1= 136.5
2		78.540	107.11	10711	136.38		RP=147.0
3		78.540	105.38	10538	134.17		R2=157.5
1	100%	78.540	94.63	9463	120.49	120.42	R1= 136.5
2		78.540	95.22	9522	121.24		RP=147.0
3		78.540	93.88	9388	119.53		R2=157.5

Fuente: Bryan Paul Salinas Freire

Análisis: Se observa que la resistencia a compresión se encuentra en el rango de valores correspondientes a una resistencia de 210 kg/cm² a los 7 días de las probetas base hasta un 30% de sustitución de agregado fino reciclado. Para las probetas base,

esta resistencia es de 156.33 kg/cm². Al introducir un 10% de agregado reciclado, la resistencia disminuye ligeramente a 152.05 kg/cm². Con un porcentaje del 15%, la resistencia se reduce a 148.96 kg/cm². Cuando el contenido de agregado reciclado es del 30%, la resistencia alcanza los 142.82 kg/cm². Sin embargo, para un 60%, la resistencia se sitúa ligeramente debajo de la resistencia mínima, registrando 135.52 kg/cm². Finalmente, para un 100%, el promedio de resistencia se establece en 120.46 kg/cm² encontrándose muy alejado del límite mínimo.

Tabla 33. Resistencia a compresión a los 14 días de 210kg/cm²

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO							
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA							
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL							
RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN SIMPLE FABRICADO CON AGREGADO FINO PROVENIENTE DE HORMIGONES RECICLADOS							
RESISTENCIA A COMPRESIÓN A LOS 14 DIAS DE EDAD							
Origen:		Laboratorio de ingeniería civil UTA					
Ensayado por:		Paúl Salinas					
Norma:		NTE INEN 1573		Fecha:		15/12/2023	
Probetas de f'c 210 kg/cm ²							
Numero de Cilindro	% de hormigón reciclado	Área (cm)	Carga P (KN)	Carga P (Kg)	Esf. Compresión (kg/cm ²)	Esf. Compresión promedio (kg/cm ²)	Rangos (kg/cm ²)
1	Base	78.540	143.3	14330	182.46	185.90	R1= 168.00
2		78.540	149.48	14948	190.32		RP=178.50
3		78.540	145.24	14524	184.93		R2=189.00
1	10%	78.540	145.37	14537	185.09	183.20	R1= 168.00
2		78.540	142.3	14230	181.18		RP=178.50
3		78.540	143.99	14399	183.33		R2=189.00
1	15%	78.540	144.56	14456	184.06	182.31	R1= 168.00
2		78.540	143.1	14310	182.20		RP=178.50
3		78.540	141.89	14189	180.66		R2=189.00
1	30%	78.540	138.35	13835	176.15	177.34	R1= 168.00
2		78.540	139.16	13916	177.18		RP=168.50
3		78.540	140.34	14034	178.69		R2=189.00
1	60%	78.540	133.73	13373	170.27	171.38	R1= 168.00
2		78.540	135.6	13560	172.65		RP=178.50
3		78.540	134.47	13447	171.21		R2=189.00
1	100%	78.540	120.51	12051	153.44	156.42	R1= 168.00
2		78.540	123.19	12319	156.85		RP=178.50
3		78.540	124.85	12485	158.96		R2=189.00

Fuente: Bryan Paul Salinas Freire

Análisis: Los resultados del ensayo a compresión a los 14 días mostró una tendencia similar a los registrados en los 7 días, en donde la probeta base junto con el reemplazo del 10% ,15% y 30% se encuentran dentro de los límites establecidos, seguido por la probeta de 60% que se encuentra en el límite inferior, y la probeta de 100% se aleja considerablemente del límite inferior encontrándose 11.58 kg/cm² debajo de la resistencia mínima.

Tabla 34. Resistencia a compresión a los 28 días de 210kg/cm²

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL							
RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN SIMPLE FABRICADO CON AGREGADO FINO PROVENIENTE DE HORMIGONES RECICLADOS							
RESISTENCIA A COMPRESIÓN A LOS 28 DIAS DE EDAD							
Origen:		Laboratorio de ingeniería civil UTA					
Ensayado por:		Paúl Salinas					
Norma:		NTE INEN 1573		Fecha:		15/12/2023	
Probetas de f'c 210 kg/cm ²							
Numero de Cilindro	% de hormigón reciclado	Área (cm)	Carga P (KN)	Carga P (Kg)	Esf. Compresión (kg/cm ²)	Esf. Compresión promedio (kg/cm ²)	Rangos (kg/cm ²)
1	Base	78.540	172.45	17245	219.57	217.52	R1= 199.50
2		78.540	174.11	17411	221.68		RP=210.00
3		78.540	165.97	16597	211.32		R2=220.50
1	10%	78.540	168.29	16829	214.27	215.14	R1= 199.50
2		78.540	170.22	17022	216.73		RP=210.00
3		78.540	168.41	16841	214.43		R2=220.50
1	15%	78.540	165.88	16588	211.20	211.38	R1= 199.50
2		78.540	166.02	16602	211.38		RP=210.00
3		78.540	166.15	16615	211.55		R2=220.50
1	30%	78.540	162.57	16257	206.99	205.15	R1= 199.50
2		78.540	159.73	15973	203.37		RP=210.00
3		78.540	161.07	16107	205.08		R2=220.50
1	60%	78.540	151.1	15110	192.39	199.89	R1= 199.50
2		78.540	164.21	16421	209.08		RP=210.00
3		78.540	155.66	15566	198.19		R2=220.50
1	100%	78.540	142.3	14230	181.18	181.60	R1= 199.50
2		78.540	142.74	14274	181.74		RP=210.00
3		78.540	142.85	14285	181.88		R2=220.50

Fuente: Bryan Paul Salinas Freire

Análisis: A los 28 días, la tendencia observada en la resistencia a compresión sigue la misma tendencia que a los 7 y 14 días. Para las probetas base, se mantiene una resistencia dentro del límite de 217.52 kg/cm². Al incorporar un 10% de hormigón reciclado, la resistencia disminuye a 215.14 kg/cm². Con un 15%, la resistencia se reduce ligeramente a 21.38 kg/cm², al alcanzar un 30% de contenido reciclado, la resistencia disminuye a 205.15 kg/cm². No obstante, al llegar al 60%, la resistencia se encuentra en el límite inferior, registrando 199.89 kg/cm². Finalmente, para un 100%, la resistencia promedio se establece en 181.60 kg/cm².

-Resistencia a compresión a los 7, 14 y 28 días de 240kg/cm²

Tabla 35. Resistencia a compresión a los 7 días de 240kg/cm²

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO							
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA							
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL							
RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN SIMPLE FABRICADO CON AGREGADO FINO PROVENIENTE DE HORMIGONES RECICLADOS							
RESISTENCIA A COMPRESIÓN A LOS 7 DIAS DE EDAD							
Origen:		Laboratorio de ingeniería civil UTA					
Ensayado por:		Paúl Salinas					
Norma:		NTE INEN 1573		Fecha:		15/12/2023	
Probetas de f'c 240 kg/cm ²							
Numero de Cilindro	% de hormigón reciclado	Área (cm)	Carga P (KN)	Carga P (Kg)	Esf. Compresión (kg/cm ²)	Esf. Compresión promedio (kg/cm ²)	Rangos (kg/cm ²)
1	Base	78.540	141.21	14121	179.79	178.29	R1= 156.0
2		78.540	139.82	13982	178.02		RP=168.0
3		78.540	139.06	13906	177.06		R2=180.0
1	10%	78.540	136.29	13629	173.53	173.39	R1= 156.0
2		78.540	135.97	13597	173.12		RP=168.0
3		78.540	136.27	13627	173.50		R2=180.0
1	15%	78.540	132.88	13288	169.19	171.22	R1= 156.0
2		78.540	136.79	13679	174.17		RP=168.0
3		78.540	133.76	13376	170.31		R2=180.0
1	30%	78.540	129.45	12945	164.82	163.69	R1= 156.0
2		78.540	127.6	12760	162.47		RP=168.0
3		78.540	128.63	12863	163.78		R2=180.0
1	60%	78.540	120.29	12029	153.16	154.02	R1= 156.0
2		78.540	119.57	11957	152.24		RP=168.0

3		78.540	123.05	12305	156.67		R2=180.0
1	100%	78.540	102.18	10218	130.10	131.08	R1= 156.0
2		78.540	102.77	10277	130.85		RP=168.0
3		78.540	103.89	10389	132.28		R2=180.0

Fuente: Bryan Paul Salinas Freire

Análisis: : La probeta base, con una resistencia de 178.29 kg/cm², se sitúa dentro del límite de resistencia a los 7 días. De igual manera, las probetas con un 10%, 15% y 30% de hormigón reciclado también se encuentran dentro de los límites recomendados. El 60% se encuentra debajo del límite inferior 1.98 kg/cm². Es importante señalar que de igual manera que el hormigón de 210 kg/cm², al reemplazar el 100% del agregado por agregado fino reciclado, la resistencia experimenta una disminución notable.

Tabla 36. Resistencia a compresión a los 7 días de 240kg/cm²

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL							
RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN SIMPLE FABRICADO CON AGREGADO FINO PROVENIENTE DE HORMIGONES RECICLADOS							
RESISTENCIA A COMPRESIÓN A LOS 14 DIAS DE EDAD							
Origen:		Laboratorio de ingeniería civil UTA					
Ensayado por:		Paúl Salinas					
Norma:		NTE INEN 1573		Fecha:		15/12/2023	
Probetas de f'c 240 kg/cm ²							
Numero de Cilindro	% de hormigón reciclado	Área (cm)	Carga P (KN)	Carga P (Kg)	Esf. Compresión (kg/cm ²)	Esf. Compresión promedio (kg/cm ²)	Rangos (kg/cm ²)
1	Base	78.540	167.91	16791	213.79	214.26	R1= 192.0
2		78.540	169.9	16990	216.32		RP=204.0
3		78.540	167.04	16704	212.68		R2=216.0
1	10%	78.540	164.23	16423	209.10	210.78	R1= 192.0
2		78.540	169.9	16990	216.32		RP=204.0
3		78.540	162.52	16252	206.93		R2=216.0
1	15%	78.540	163.45	16345	208.11	207.13	R1= 192.0
2		78.540	164.63	16463	209.61		RP=204.0
3		78.540	159.97	15997	203.68		R2=216.0
1	30%	78.540	160.1	16010	203.85	202.88	R1= 192.0
2		78.540	159.21	15921	202.71		RP=204.0
3		78.540	158.72	15872	202.09		R2=216.0

1	60%	78.540	152.42	15242	194.07	193.40	R1= 192.0
2		78.540	152.13	15213	193.70		RP=204.0
3		78.540	151.13	15113	192.42		R2=216.0
1	100%	78.540	142.67	14267	181.65	181.24	R1= 192.0
2		78.540	141.35	14135	179.97		RP=204.0
3		78.540	143.01	14301	182.09		R2=216.0

Fuente: Bryan Paul Salinas Freire

Análisis: : Los resultados del ensayo de compresión a los 14 días exhiben una tendencia igual con los registrados a los 7 días. La probeta base, junto con el reemplazo del 10%, 15% y 30% de hormigón reciclado, permanecen dentro de los límites establecidos. Por otro lado, con de 60% se encuentra cercano al límite inferior, finalmente cuando el reemplazo es del 100% la resistencia disminuye 10.76kg/cm² por debajo del límite inferior.

Tabla 37. Resistencia a compresión a los 28 días de 240kg/cm²

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO							
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA							
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL							
RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN SIMPLE FABRICADO CON AGREGADO FINO PROVENIENTE DE HORMIGONES RECICLADOS							
RESISTENCIA A COMPRESIÓN A LOS 28 DIAS DE EDAD							
Origen:		Laboratorio de ingeniería civil UTA					
Ensayado por:		Paúl Salinas					
Norma:		NTE INEN 1573		Fecha:		15/12/2023	
Probetas de f'c 240 kg/cm ²							
Numero de Cilindro	% de hormigón reciclado	Área (cm)	Carga P (KN)	Carga P (Kg)	Esf. Compresión (kg/cm ²)	Esf. Compresión promedio (kg/cm ²)	Rangos (kg/cm ²)
1	Base	78.540	189.67	18967	241.50	248.46	R1= 228.0
2		78.540	195.81	19581	249.31		RP=240.0
3		78.540	199.94	19994	254.57		R2=252.0
1	10%	78.540	195.63	19563	249.08	245.12	R1= 228.0
2		78.540	192.79	19279	245.47		RP=240.0
3		78.540	189.13	18913	240.81		R2=252.0
1	15%	78.540	189.49	18949	241.27	241.55	R1= 228.0
2		78.540	190.60	19060	242.68		RP=240.0
3		78.540	189.05	18905	240.71		R2=252.0
1	30%	78.540	185.11	18511	235.69	235.98	R1= 228.0

2		78.540	185.67	18567	236.40		RP=240.0
3		78.540	185.23	18523	235.84		R2=252.0
1	60%	78.540	180.27	18027	229.53	230.04	R1= 228.0
2		78.540	180.08	18008	229.28		RP=240.0
3		78.540	181.67	18167	231.31		R2=252.0
1	100%	78.540	165.31	16531	210.48	210.33	R1= 228.0
2		78.540	165.75	16575	211.04		RP=240.0
3		78.540	164.53	16453	209.49		R2=252.0

Fuente: Bryan Paul Salinas Freire

Análisis: En los resultados a los 28 días el comportamiento de las distintas resistencias en relación con las mezclas de hormigón que incluyen agregado reciclado en diversas edades del ensayo de compresión señala que los porcentajes óptimos para el reemplazo de agregado fino se sitúan en el rango del 10% al 30%, demostrando ser aceptables en términos de los rangos de diseño establecidos.

-Comparación de la resistencia del hormigón convencional y del fabricado con agregado fino reciclado

Se mostrarán tablas resumen que detallan las resistencias alcanzadas por día, considerando la variación en el porcentaje de agregado reciclado y para cada resistencia de diseño. Estas tablas proporcionarán una visión clara del porcentaje de resistencia alcanzado en comparación con la resistencia de diseño correspondiente.

Tabla 38. Resumen de resistencia del hormigón 210 kg/cm² a los 7 días de edad

Resumen de resistencia del hormigón 210 kg/cm² a los 7 días de edad					
	Agregado Reciclado				
Base	10%	15%	30%	60%	100%
Resistencia kg/cm ²	Resistencia kg/cm ²	Resistencia kg/cm ²	Resistencia kg/cm ²	Resistencia kg/cm ²	Resistencia kg/cm ²
156.33	152.05	148.96	142.89	135.52	120.42
74.44%	72.40%	70.93%	68.04%	64.53%	57.34%

Fuente: Bryan Paul Salinas Freire

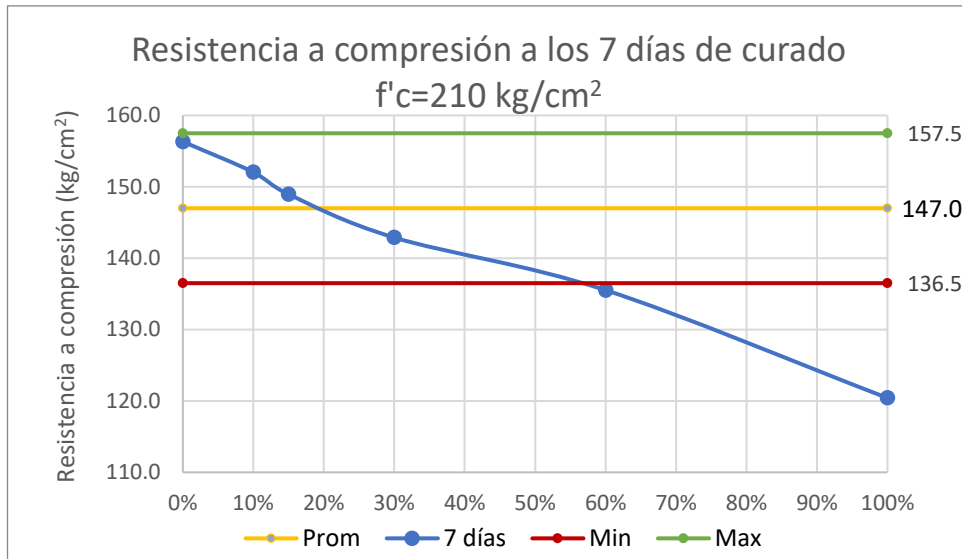


Figura 7. Resistencia a compresión a los 7 días de curado $f'c= 210\text{kg/cm}^2$

Fuente: Bryan Paul Salinas Freire

Tabla 39. Resumen de resistencia del hormigón 210 kg/cm² a los 14 días de edad

Resumen de resistencia del hormigón 210 kg/cm ² a los 14 días de edad					
	Agregado Reciclado				
Base	10%	15%	30%	60%	100%
Resistencia kg/cm ²	Resistencia kg/cm ²	Resistencia kg/cm ²	Resistencia kg/cm ²	Resistencia kg/cm ²	Resistencia kg/cm ²
185.90	183.20	182.31	177.34	171.38	156.42
88.52%	87.24%	86.81%	84.45%	81.61%	74.48%

Fuente: Bryan Paul Salinas Freire

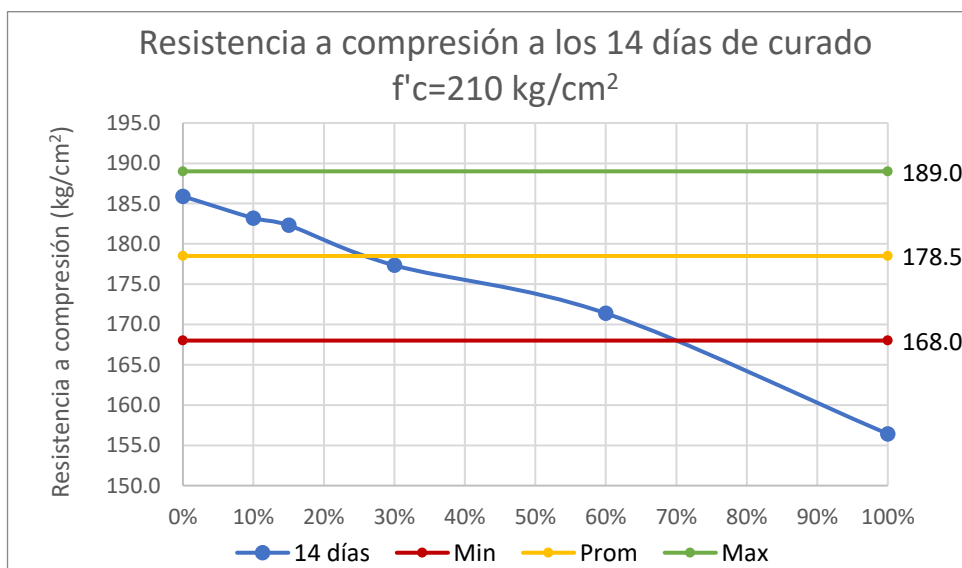


Figura 8. Resistencia a compresión a los 14 días de curado $f'c= 210\text{kg/cm}^2$

Fuente: Bryan Paul Salinas Freire

Tabla 40. Resumen de resistencia del hormigón 210 kg/cm² 28 días de edad

Resumen de resistencia del hormigón 210 kg/cm² 28 días de edad					
	Agregado Reciclado				
Base	10%	15%	30%	60%	100%
Resistencia kg/cm ²	Resistencia kg/cm ²	Resistencia kg/cm ²	Resistencia kg/cm ²	Resistencia kg/cm ²	Resistencia kg/cm ²
217.52	215.14	211.38	205.15	199.89	181.60
103.58%	102.45%	100.66%	97.69%	95.18%	86.48%

Fuente: Bryan Paul Salinas Freire

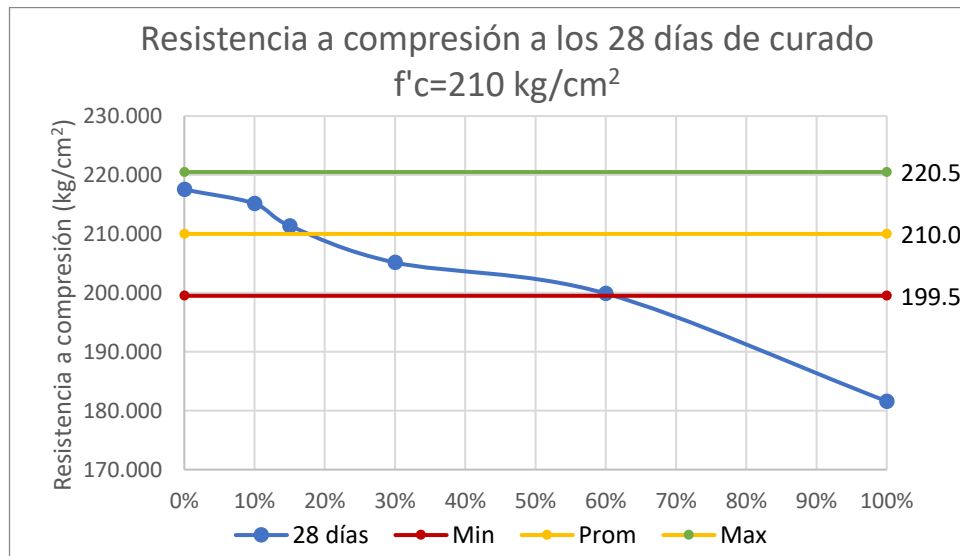


Figura 9. Resistencia a compresión a los 28 días de curado

Fuente: Bryan Paul Salinas Freire

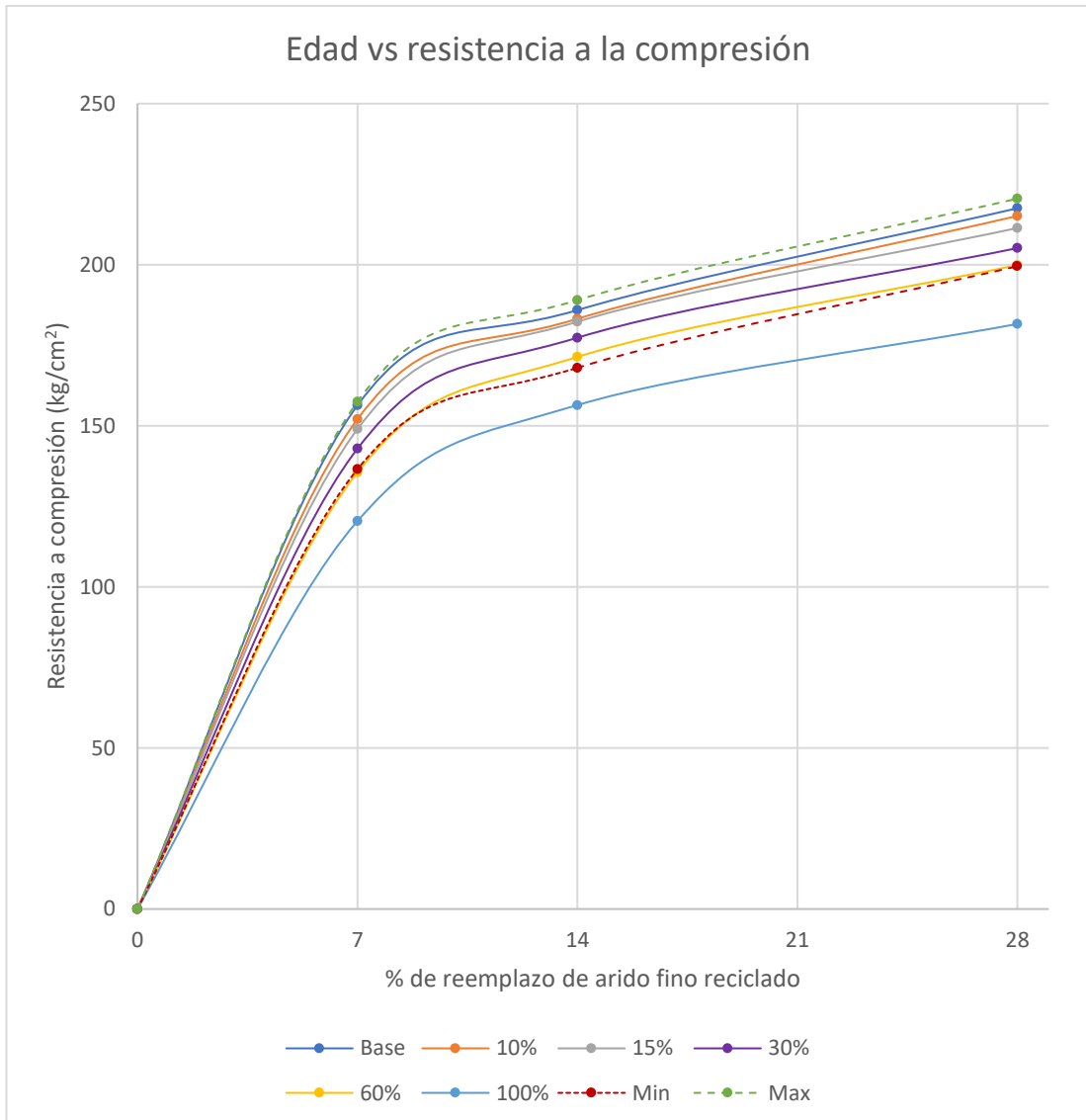


Figura 10. Edad vs resistencia a la compresión $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$

Fuente: Bryan Paul Salinas Freire

Análisis: Los resultados demuestran que un porcentaje de reemplazo de hasta el 30% es óptimo para alcanzar la resistencia de 210 kg/cm^2 , ya después del porcentaje de 60% la resistencia del hormigón se ve reducida

Tabla 41. Resumen de resistencia del hormigón 240 kg/cm² a los 7 días de edad

Resumen de resistencia del hormigón 240 kg/cm² a los 7 días de edad					
	Agregado Reciclado				
Base	10%	15%	30%	60%	100%
Resistencia kg/cm ²	Resistencia kg/cm ²	Resistencia kg/cm ²	Resistencia kg/cm ²	Resistencia kg/cm ²	Resistencia kg/cm ²
214.26	210.78	207.13	202.88	193.40	181.24
89.28%	87.83%	86.31%	84.53%	80.58%	75.52%

Fuente: Bryan Paul Salinas Freire

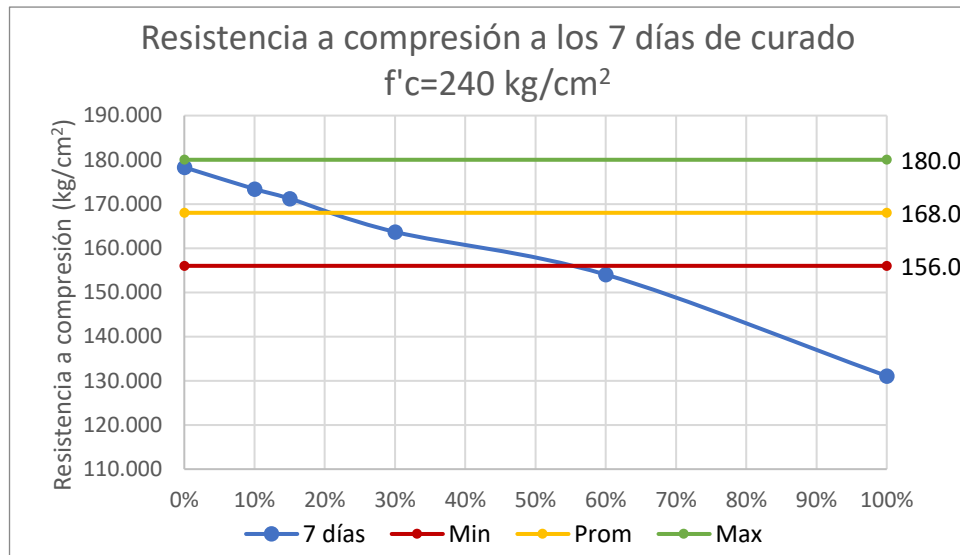


Figura 11. Resistencia a compresión a los 7 días de curado $f'c=240$ kg/cm²

Fuente: Bryan Paul Salinas Freire

Tabla 42. Resumen de resistencia del hormigón 240 kg/cm² a los 14 días de edad

Resumen de resistencia del hormigón 240 kg/cm² a los 14 días de edad					
	Agregado Reciclado				
Base	10%	15%	30%	60%	100%
Resistencia kg/cm ²	Resistencia kg/cm ²	Resistencia kg/cm ²	Resistencia kg/cm ²	Resistencia kg/cm ²	Resistencia kg/cm ²
214.26	210.78	207.13	202.88	193.40	181.24
89.28%	87.83%	86.31%	84.53%	80.58%	75.52%

Fuente: Bryan Paul Salinas Freire

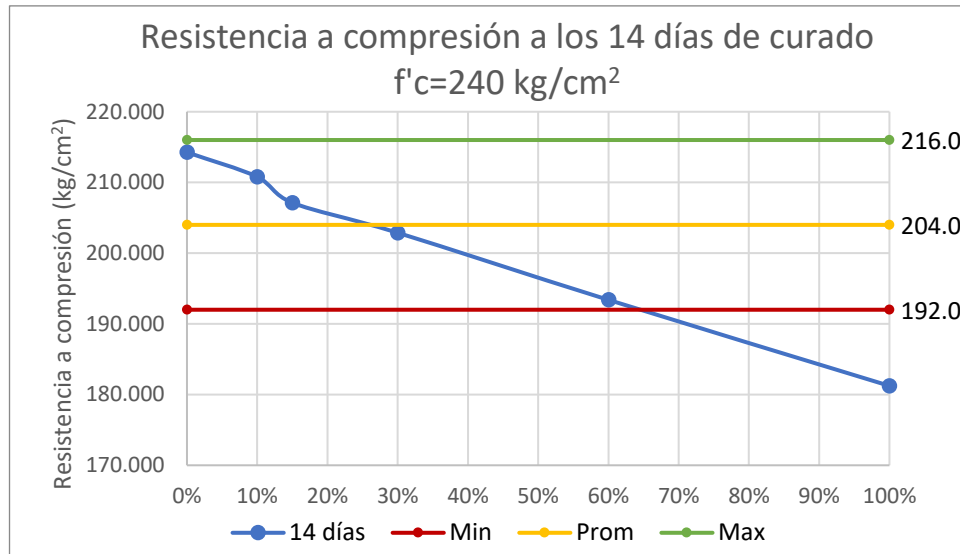


Figura 12. Resistencia a compresión a los 14 días de curado $f'c=240 \text{ kg/cm}^2$

Fuente: Bryan Paul Salinas Freire

Tabla 43. Resumen de resistencia del hormigón 240 kg/cm^2 a los 28 días de edad

Resumen de resistencia del hormigón 240 kg/cm^2 a los 28 días de edad					
	Agregado Reciclado				
Base	10%	15%	30%	60%	100%
Resistencia kg/cm^2	Resistencia kg/cm^2	Resistencia kg/cm^2	Resistencia kg/cm^2	Resistencia kg/cm^2	Resistencia kg/cm^2
248.46	245.12	241.55	235.98	230.04	210.33
103.52%	102.13%	100.65%	98.32%	95.85%	87.64%

Fuente: Bryan Paul Salinas Freire

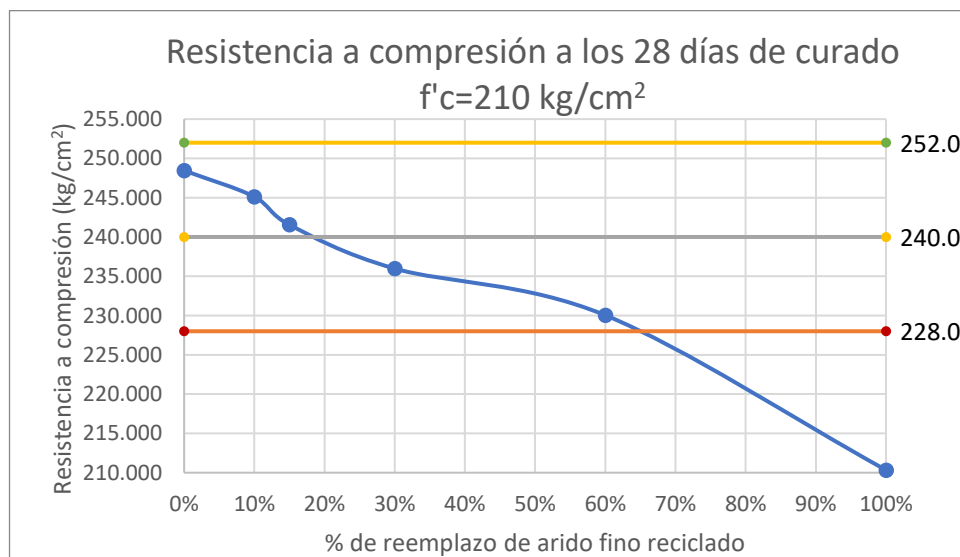


Figura 13. Resistencia a compresión a los 28 días de curado $f'c=240 \text{ kg/cm}^2$

Fuente: Bryan Paul Salinas Freire

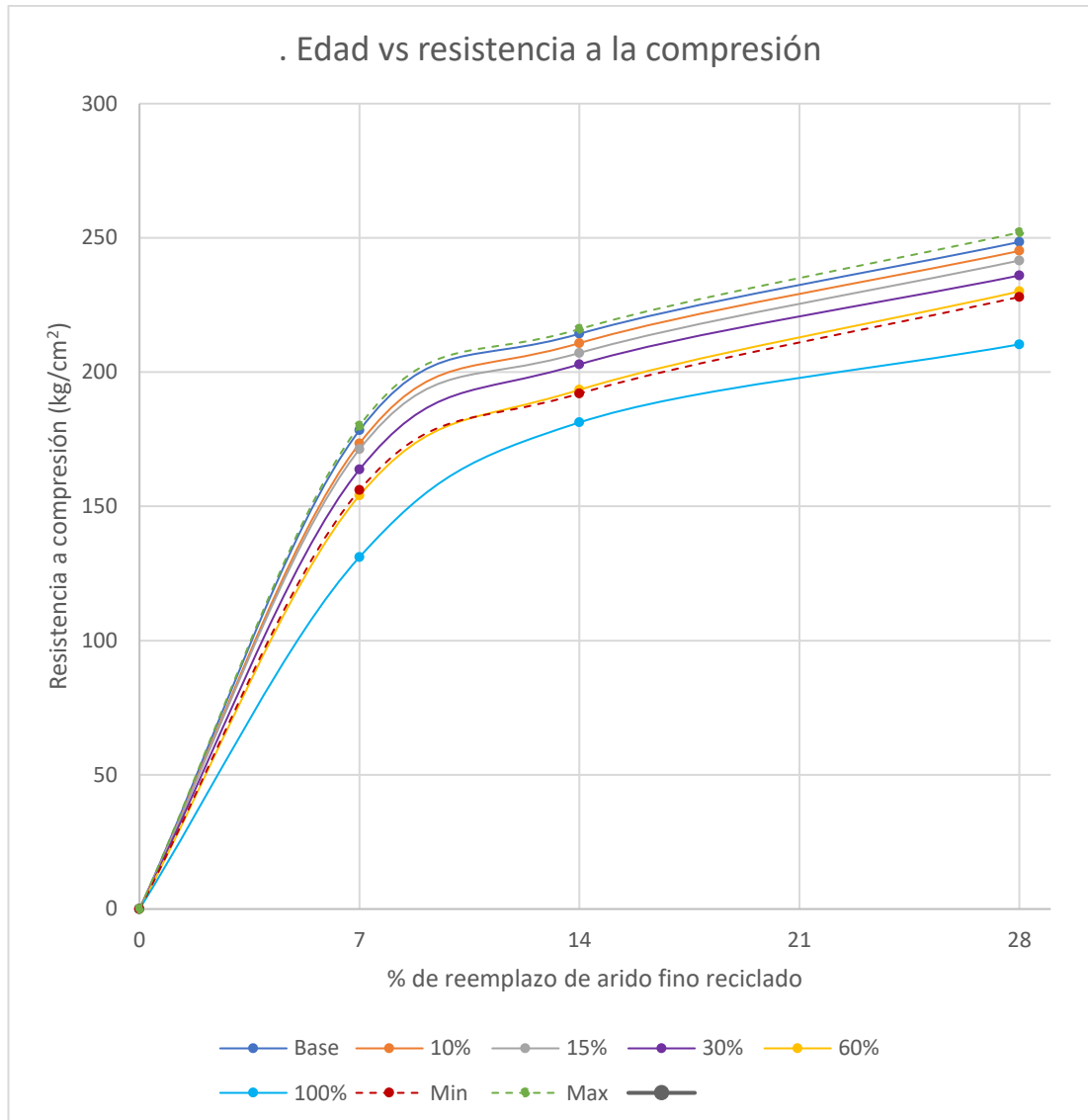


Figura 14. Edad vs resistencia a la compresión $f'c=240 \text{ kg/cm}^2$

Fuente: Bryan Paul Salinas Freire

Análisis: La compresión a los 7, 14 y 28 días reveló que el hormigón con 10% al 30% de agregado fino reciclado alcanzó resistencias comparables con las mezclas de referencia, mientras que a partir de un 60% se obtienen resistencias considerablemente bajas.

3.2 Verificación de hipótesis

3.2.1 Hipótesis

El reemplazo de agregado fino reciclado de hormigones por agregado natural influye en la resistencia a la compresión del hormigón.

3.2.2 Verificación

La realización de 108 probetas con diversos contenidos de agregado fino reciclado, seguida por ensayos de compresión a los 7, 14 y 28 días, permitió confirmar que a medida que aumenta la proporción de agregado fino reciclado en las mezclas de hormigón, la resistencia a compresión tiende a reducirse, tanto en la dosificación de 210 kg/cm² como en la dosificación de 240 kg/cm².

CAPITULO IV.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 Conclusiones

- Los ensayos demostraron que tanto el agregado fino natural como el reciclado cumplen con los requisitos normativos para la fabricación de concreto. Aunque el agregado fino reciclado mostró un módulo de finura superior, aún se encontraba dentro de los límites recomendados
- Los resultados de esta investigación confirman la viabilidad técnica de incorporar agregado fino reciclado en la fabricación de hormigón. A pesar de las variaciones en sus propiedades, el material reciclado demostró cumplir con estándares normativos, respaldando su aplicación en la construcción sostenible.
- Se obtuvo la dosificación al peso para las resistencias de diseño de 210 kg/cm^2 y de 240 kg/cm^2 , a partir de las cuales se reemplazó el material reciclado, se prepararon un total de 90 muestras de hormigón con distintos porcentajes de agregado fino reciclado en relación con el peso del agregado fino natural, junto con 18 probetas base para la comparación de propiedades y resistencia. Se emplearon 46.72 kg de agregado fino reciclado, utilizando el método de la densidad óptima para lograr una resistencia de diseño de 210 kg/cm^2 y 240 kg/cm^2 .
- Se observó una leve reducción en la densidad del hormigón reciclado, siendo más notoria en el caso del reemplazo del 100%. Se evidenció una disminución del 1.35% en estado fresco y del 1.33% en estado endurecido para una dosificación de 210 kg/cm^2 . De igual manera, en la dosificación de 240 kg/cm^2 , se registró una disminución del 0.55% en la densidad en estado fresco y del 0.69% en la densidad endurecida.
- Los ensayos a compresión muestran que el hormigón reciclado presenta resistencias a la compresión comparables con las de hormigón tradicional incluso con un reemplazo del 60 % de agregado fino reciclado. Sin embargo, se destaca que el porcentaje óptimo se sitúa en un 30 %, ya que a esta proporción se observa que la introducción de material reciclado en la mezcla no compromete significativamente la resistencia del hormigón.
- El análisis de los ensayos a compresión a los 7, 14 y 28 días de edad sugiere que la influencia del porcentaje de agregado fino reciclado en la resistencia a

compresión persiste a lo largo del tiempo, afectando de manera constante las propiedades mecánicas de las mezclas.

4.2 Recomendaciones

- Continuar con la línea investigativa realizando ensayos de resistencia a tensión y a flexión del hormigón fabricado con agregado fino reciclado para ver cuál es su comportamiento en comparación con el hormigón convencional.
- Se aconseja considerar la implementación gradual de hormigones con agregado reciclado en proyectos de construcción reales. Esto permitirá evaluar su rendimiento en condiciones prácticas y ajustar las prácticas de fabricación según la retroalimentación obtenida.
- Es esencial llevar a cabo programas educativos y de concientización dirigidos a profesionales de la construcción, ingenieros y arquitectos, así como a la comunidad en general, para promover la adopción de prácticas sostenibles en la construcción y destacar los beneficios ambientales puede ser clave para el éxito a largo plazo de la utilización de materiales reciclados en la industria.
- Se sugiere revisar y actualizar las normativas existentes relacionadas con la utilización de materiales reciclados en la construcción. Establecer estándares claros y actualizados para la incorporación de estos materiales garantizará la seguridad estructural y promoverá su aceptación generalizada en la industria de la construcción.
- Explorar y desarrollar métodos innovadores para la obtención de agregados reciclados podría mejorar la calidad del material disponible. Investigar alternativas de reciclaje más eficientes y sostenibles podría tener un impacto positivo tanto en la calidad del hormigón como en la reducción del impacto ambiental.

C. MATERIALES DE REFERENCIA

Referencias Bibliográficas

- [1] W. Martínez-Molina *et al.*, “Concreto reciclado: una revisión”, *Revista ALCONPAT*, vol. 5, pp. 235–248, 2015, Consultado: el 26 de octubre de 2023. [En línea]. Disponible en: http://www.mda.cinvestav.mx/revista_alconpat
- [2] S. Bolaños, “Estudio del uso de materiales reciclados como hormigones, cerámicas y otros productos de derrocamiento o desperdicio de obra como agregados para un hormigón.”, 2015.
- [3] Á. Guzmán Aponte, D. M. Burgos Galindo, y N. Torres Castellanos, “Desempeño mecánico y durable de concretos que incorporan agregado reciclado fino comercial”, *Revista EIA*, vol. 16, núm. 32, pp. 167–179, jun. 2019, doi: 10.24050/REIA.V16I32.1210.
- [4] INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN, “Áridos para hormigón. Requisitos NTE INEN 872:2011”, 2011.
- [5] Servicio Ecuatoriano de Normalización, “Hormigón. Definiciones y Terminología NTE INEN 1762”, 2015.
- [6] E. Matthey, R. Robayo, Y. Silva, Álvarez Norman, y S. Delvasto, “Caracterización física y mecánica de agregados reciclados obtenidos a partir de escombros de la construcción”, 2014.
- [7] R. M. Bucio-Toledo y D. A. Flores-Sandoval, “Agregados finos de concreto reciclado y su influencia en concreto no estructural”, *Pädi Boletín Científico de Ciencias Básicas e Ingenierías del ICBI*, vol. 10, núm. Especial7, pp. 66–75, dic. 2022, doi: 10.29057/icbi.v10iespecial7.9851.
- [8] A. Castro, Y. Silva, D. Medina, y S. Delvasto, “Efecto de tratamientos en agregados reciclados sobre las propiedades en estado fresco y endurecido de concretos autocompactantes.”, *Revista EIA*, vol. 19, núm. 38, jun. 2022, doi: 10.24050/reia.v19i38.1547.
- [9] F. G. Cabrera-Covarrubias, J. M. Gómez-Soberón, J. L. Almaral-Sánchez, S. P. Arredondo-Rea, M. C. Gómez-Soberón, y J. M. Mendivil-Escalante, “Propiedades en estado fresco de morteros con árido reciclado de hormigón y

efecto de la relación c/a ”, *Ingeniería y Desarrollo*, vol. 35, núm. 1, pp. 198–218, ene. 2017, doi: 10.14482/inde.35.1.8949.

- [10] A. Rómulo, “PROPIEDADES FÍSICO – MECÁNICAS DEL HORMIGÓN ELABORADO CON ÁRIDOS RECICLADOS”, UCE, Quito, 2017.
- [11] Sosa María, “Estudio de la contracción por secado en morteros y hormigones elaborados con agregados finos reciclados”, UNLP, 2018.
- [12] R. Carrasco, “APLICACIÓN DEL USO DE LOS RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN PARA LA FABRICACIÓN DE BLOQUES DE HORMIGÓN EN LA CIUDAD DE RIOBAMBA, ANÁLISIS DE COSTO E IMPACTO AMBIENTAL”, 2018.
- [13] P. Alaejos Gutiérrez y M. Sánchez De Juan, “Hormigón reciclado estructural: utilización de árido reciclado procedente de escombros de hormigón”, 2015.
- [14] L. Daniel *et al.*, “APLICACIÓN DE MÉTODOS DE CURADO Y SU INFLUENCIA EN LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN APPLICATION OF CURING METHODS AND THEIR INFLUENCE ON THE COMPRESSION STRENGTH OF CONCRETE”, *Artículo de Investigación*, vol. 23, núm. 1, pp. 35–47, 2022, doi: 10.51372/gacetatecnica231.4.
- [15] H. Xargay, M. Ripani, A. Caggiano, P. Folino, y E. Martinelli, “Uso de materiales reciclados en compuestos cementicios”, *Tecnura*, vol. 23, núm. 60, pp. 38–51, abr. 2019, doi: 10.14483/22487638.14697.
- [16] I. Mendoza y S. Chávez, “Residuos de construcción y demolición como agregado de concreto hidráulico nuevo”, 2017. [En línea]. Disponible en: www.ecorfan.org/republicofperu
- [17] Instituto Ecuatoriano de Normalización, “NTE INEN 696:2011 Áridos. Análisis granulométrico en los áridos fino y grueso.”, 2011.
- [18] Instituto Ecuatoriano de Normalización, “NTE INEN 872:2011 Áridos para hormigón. Requisitos”, 2011.

- [19] Instituto Ecuatoriano de Normalización, “NTE INEN 857:2010 Áridos. Determinación de la densidad, densidad relativa (gravedad específica) y absorción del árido grueso.”, 2010.
- [20] Instituto Ecuatoriano de Normalización, “NTE INEN 856:2010 Áridos. Determinación de la densidad, densidad (gravedad específica) y absorción del árido fino.”, 2010.
- [21] Instituto Ecuatoriano de Normalización, “NTE INEN 0858:2010 Áridos. Determinación de la masa unitaria (peso volumétrico) y el porcentaje de vacíos”, 2010.
- [22] Instituto Ecuatoriano de Normalización, “NTE INEN 156:2009 Cemento hidráulico. Determinación de la densidad”, 2009.
- [23] Instituto Ecuatoriano de Normalización, “NTE INEN 862:2011 Áridos para hormigón. Determinación del contenido total de humedad.”, 2011.
- [24] M. Garzón, “Seminario de graduación, investigación sobre el módulo de elasticidad del hormigón”, Universidad Central del Ecuador, Quito, 2010.
- [25] A. Almeida y J. Alviar, “ANÁLISIS COMPARATIVO DE MÉTODOS DE DISEÑO DE MEZCLAS DE UN HORMIGÓN DE ALTA RESISTENCIA CONFORMADO POR AGREGADOS PROCEDENTES DE LA CANTERA DE PINTAG”.
- [26] Servicio Ecuatoriano de Normalización, “NTE INEN 3124 Hormigón. Elaboración y curado de especímenes de ensayo en el laboratorio”, 2017.
- [27] Instituto Ecuatoriano de Normalización, “NTE INEN 1 573:2010 Hormigón de cemento hidráulico. Determinación de la resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos de hormigón de cemento hidráulico.”, 2010.
- [28] ACI Committee 238. y American Concrete Institute., *Report on measurements of workability and rheology of fresh concrete*. American Concrete Institute, 2008.
- [29] Instituto Ecuatoriano de Normalización, “NTE INEN 1 578:2010 Hormigón de cemento hidráulico. Determinación del asentamiento”.



- [30] Ministerio de Planificación Federal, *Reglamento CIRSOC 201*.
- [31] Maritza Ureña y Carlos Haro, “ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA RESISTENCIA A FLEXIÓN ENTRE EL HORMIGÓN TRADICIONAL Y HORMIGÓN ADICIONADO CENIZAS DE CASCARILLA DE ARROZ (CCA) Y HORMIGÓN ADICIONADO CON CENIZAS DE BAGAZO DE CAÑA DE AZÚCAR (CBC)”, 2016.
- [32] Instituto Ecuatoriano de Normalización, “NORMA TÉCNICA ECUATORIANA NTE INEN 1579:2013 HORMIGÓN DE CEMENTO HIDRÁULICO. DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD, RENDIMIENTO Y CONTENIDO DE AIRE (MÉTODO GRAVIMÉTRICO)”.
- [33] S. Jagan, T. R. Neelakantan, P. Saravanakumar, S. Jagan, T. R. Neelakantan, y P. Saravanakumar, “Mechanical properties of recycled aggregate concrete treated by variation in mixing approaches”, *Revista de la construcción*, vol. 20, núm. 2, pp. 236–248, 2021, doi: 10.7764/RDLC.20.2.336.

Anexos

<p style="text-align: center;">Fotografía 1</p> 	<p style="text-align: center;">Fotografía 2</p> 
<p>Descripción: Recolección de material de escombros</p>	<p>Descripción: Triturado del material de escombros para la obtención del agregado fino reciclado</p>
<p style="text-align: center;">Fotografía 3</p> 	<p style="text-align: center;">Fotografía 4</p> 
<p>Descripción: Ensayo granulométrico del agregado grueso</p>	<p>Descripción: Tamices para la determinación de la granulometría del agregado fino</p>
<p style="text-align: center;">Fotografía 5</p> 	<p style="text-align: center;">Fotografía 6</p> 
<p>Descripción: Determinación del peso seco del agregado fino reciclado</p>	<p>Descripción: Secado del agregado fino natural y el reciclado para Ensayo de densidad real y capacidad de absorción</p>

<p style="text-align: center;">Fotografía 7</p> 	<p style="text-align: center;">Fotografía 8</p> 
<p>Descripción: Ensayo de densidad real y capacidad de absorción del agregado grueso</p>	<p>Descripción: Determinación del peso sumergido del agregado grueso</p>
<p style="text-align: center;">Fotografía 9</p> 	<p style="text-align: center;">Fotografía 10</p> 
<p>Descripción: Determinación del peso seco del agregado fino reciclado</p>	<p>Descripción: Ensayo de densidad suelta y compactada del agregado fino reciclado</p>
<p style="text-align: center;">Fotografía 11</p> 	<p style="text-align: center;">Fotografía 12</p> 
<p>Descripción: Ensayo de densidad suelta y compactada del agregado fino</p>	<p>Descripción: Ensayo de densidad suelta y compactada del agregado grueso</p>

<p style="text-align: center;">Fotografía 13</p> 	<p style="text-align: center;">Fotografía 14</p> 
<p>Descripción: Ensayo de densidad compactada combinada de los agregados</p>	<p>Descripción: Equipo utilizado para la fabricación del hormigón</p>
<p style="text-align: center;">Fotografía 15</p> 	<p style="text-align: center;">Fotografía 16</p> 
<p>Descripción: Mezclado del hormigón</p>	<p>Descripción: Colocación del hormigón en los moldes metálicos</p>
<p style="text-align: center;">Fotografía 17</p> 	<p style="text-align: center;">Fotografía 18</p> 
<p>Descripción: Desmolde las probetas 24 horas después de la fabricación</p>	<p>Descripción: Determinación del peso del hormigón en estado fresco</p>

Fotografía 19	Fotografía 20
	
<p>Descripción: Ensayo a compresión de las probetas</p>	<p>Descripción: Probeta ensayada hasta llegar al fallo</p>