



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:

**“INFLUENCIA DEL FUEGO EN LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN DEL
HORMIGÓN ELABORADO A PARTIR DE MATERIAL RECICLADO”**

Autor: Byron Javier Quishpe Toapanta

Tutor: Ing. Lourdes Gabriela Peñafiel Valla, Mg.

AMBATO – ECUADOR

Septiembre - 2023

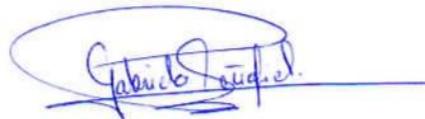
APROBACIÓN DEL TUTOR

En mi calidad de Tutora del Trabajo Experimental, previo a la obtención del Título de Ingeniero Civil, con el tema: **“INFLUENCIA DEL FUEGO EN LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN ELABORADO A PARTIR DE MATERIAL RECICLADO”**, elaborado por el Sr. Byron Javier Quishpe Toapanta, portador de la cédula de ciudadanía: C.I.0504786195, 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, septiembre 2023



Ing. Lourdes Gabriela Peñañiel Valla, Mg.

TUTORA

AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Byron Javier Quishpe Toapanta con C.I. 0504786195, declaro que todos los contenidos y actividades expuestos en el desarrollo del presente Trabajo Experimental con el tema: **“INFLUENCIA DEL FUEGO EN LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN ELABORADO A PARTIR DE MATERIAL RECICLADO”**, 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, septiembre 2023



Byron Javier Quishpe Toapanta

C.I. 0504786195

AUTOR

DERECHOS DE AUTOR

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

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

Ambato, septiembre 2023



Byron Javier Quishpe Toapanta

C.I. 0504786195

AUTOR

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO

Los miembros del Tribunal de Grado aprueban el informe del Trabajo Experimental, realizado por el estudiante Byron Javier Quishpe Toapanta de la carrera de Ingeniería Civil bajo el tema: **“INFLUENCIA DEL FUEGO EN LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN ELABORADO A PARTIR DE MATERIAL RECICLADO”**.

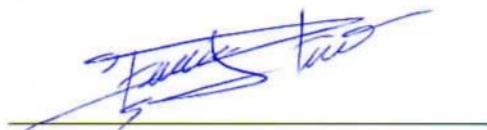
Ambato, septiembre 2023

Para constancia firman:



Ing. Wladimir Jose Ramirez Cabrera, Mg.

MIEMBRO CALIFICADOR



Ing. Maria Fernanda Pico Nuñez, Mg.

MIEMBRO CALIFICADOR

DEDICATORIA

A Dios, por permitirme llegar tan lejos hasta este punto de mi vida y acompañándome siempre haciéndome saber que nunca estaré solo.

A mis padres, por todo su apoyo tanto emocional como económico, permitiéndome aprovechar mis estudios para lograr ser un profesional y prepararme para la vida.

A mis amigos en general, por siempre ayudarme y acompañarme durante este largo proceso, especialmente a una persona, la cual hasta la actualidad ha estado conmigo motivándome para nunca rendirme.

AGRADECIMIENTO

A Dios, porque fue y siempre será mi fortaleza durante toda mi vida.

A mis padres, por haberme permitido culminar con mis estudios hasta este punto de mi vida.

A la Universidad Técnica de Ambato, porque gracias a sus docentes me he podido formar como futuro Ingeniero Civil.

A mi tutora, Ing. Mg. Gabriela Peñafiel por ser mi guía profesional para poder culminar con mi trabajo de integración curricular.

A mis compañeros y compañeras que me han acompañado durante todo este largo proceso de mi vida estudiantil.

A todos ellos ¡Gracias!

ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS

A. PAGINAS PRELIMINARES

APROBACIÓN DEL TUTOR.....	ii
AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN	iii
DERECHOS DE AUTOR.....	iv
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO	v
DEDICATORIA	vi
AGRADECIMIENTO.....	vii
ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS.....	viii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	x
ÍNDICE DE TABLAS	xii
RESUMEN EJECUTIVO	xv
ABSTRACT.....	xvi

B. CONTENIDOS

CAPITULO I.- MARCO TEÓRICO	1
1.1 Antecedentes Investigativos	1
1.2 Justificación.....	9
1.3 Objetivos.....	10
CAPITULO II.- METODOLOGÍA	11
2.1 Materiales	11
2.2 Métodos	23
2.2.1 Etapa 1. Preliminar (Obtención de material y bibliografía).....	24
2.2.2 Etapa 2. Propiedades de los agregados	27
2.2.3 Etapa 3. Elaboración de probetas cilíndricas de hormigón normal y reciclado	33
2.2.4 Etapa 4. Exposición al fuego de las probetas cilíndricas	38
2.2.5 Etapa 5. Ensayo de resistencia a compresión.....	41

CAPITULO III.- RESULTADOS Y DISCUSIÓN	42
3.1 Análisis y discusión de los resultados	42
3.1.1 Propiedades mecánicas de los agregados	42
3.1.2 Elaboración de las probetas cilíndricas	53
3.1.3 Exposición al fuego de las probetas cilíndricas	61
3.1.4 Ensayo de resistencia a compresión	76
3.2 Verificación de Hipótesis	83
CAPITULO IV.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	84
4.1 CONCLUSIONES.....	84
4.2 RECOMENDACIONES	86
C. MATERIALES DE REFERENCIA	
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	88
ANEXOS.....	93

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Planta de trituración de árido Las Viñas-Ambato	25
Figura 2. Maquina trituradora	26
Figura 3. Obtención del material triturado.....	26
Figura 4. Transporte y destino del material reciclado.....	26
Figura 5. Representación gráfica del espécimen.....	34
Figura 6. Horno de fundición para la quema de probetas	38
Figura 7. Soplete en el interior del horno para la quema de probetas.....	39
Figura 8. Pirómetro utilizado para el control de temperatura	39
Figura 9. Metodología utilizada para la quema de cilindros por cada % de AR	40
Figura 10. Quema de muestras dentro del horno de fundición	40
Figura 11. Curva edad vs resistencia a la compresión del hormigón para resistencia 240kg/cm ²	56
Figura 12. Análisis de las densidades promedio del hormigón en estado fresco.....	60
Figura 13. Análisis del peso de los cilindros (HS-0AR%) expuestos al fuego antes y después	63
Figura 14. Análisis de la densidad de los cilindros (HS-0AR%) expuestos al fuego antes y después.....	63
Figura 15. Análisis del peso de los cilindros (HS-15AR%) expuestos al fuego antes y después	66
Figura 16. Análisis de la densidad de los cilindros (HS-15AR%) expuestos al fuego antes y después.....	66
Figura 17. Análisis del peso de los cilindros (HS-30AR%) expuestos al fuego antes y después	69
Figura 18. Análisis de la densidad de los cilindros (HS-30AR%) expuestos al fuego antes y después.....	69
Figura 19. Análisis de la densidad de las muestras de hormigón luego de la exposición al fuego.....	70

Figura 20. Curva esfuerzo deformación del hormigón (HS-0AR%) después exponerse al fuego.....	76
Figura 21. Curva esfuerzo deformación del hormigón (HS-15AR%) después de exponerse al fuego.....	77
Figura 22. Curva esfuerzo deformación del hormigón (HS-30AR%) después de exponerse al fuego.....	78
Figura 23. Resumen de la resistencia a compresión del hormigón según el AR y la temperatura.....	79
Figura 24. Curva temperatura – resistencia del hormigón	80

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Material y equipos utilizados para el cumplimiento del objetivo 1	18
Tabla 2. Material y equipos utilizados para el cumplimiento del objetivo 2	20
Tabla 3. Material y equipos utilizados para el cumplimiento del objetivo 3	22
Tabla 4. Resumen de las etapas dividida del proyecto.....	23
Tabla 5. Coordenadas de la planta de trituración de áridos Las Viñas-Ambato	24
Tabla 6. Ensayos y normativas para obtener las propiedades de los materiales	27
Tabla 7. Tamices de la serie de Tyler.....	28
Tabla 8. Límites especificados para el agregado fino	28
Tabla 9. Límites especificados para el agregado grueso.....	29
Tabla 10. Tabla para obtener la densidad compactada de la mezcla.....	31
Tabla 11. Número de especímenes a realizar	34
Tabla 12. Nomenclatura para utilizar el método de la densidad óptima	35
Tabla 13. Resistencia a compresión según la relación agua/cemento.....	35
Tabla 14. Cantidad de pasta en función del asentamiento	36
Tabla 15. Normativa para el ensayo a compresión	41
Tabla 16. Análisis granulométrico del agregado fino (arena).....	43
Tabla 17. Análisis granulométrico del agregado grueso (ripió).....	44
Tabla 18. Análisis granulométrico del hormigón reciclado	45
Tabla 19. Densidad aparente suelta del agregado grueso y fino	46
Tabla 20. Densidad aparente compactada del agregado grueso y fino	46
Tabla 21. Densidad aparente suelta y compactada del material reciclado	47
Tabla 22. Comparación de densidades entre el árido natural y árido reciclado.....	47
Tabla 23. Densidad aparente compactada de la mezcla	48
Tabla 24. Densidad real y capacidad de absorción de la arena	49
Tabla 25. Densidad real y capacidad de absorción del agregado grueso	50
Tabla 26. Densidad real y capacidad de absorción del material reciclado.....	51

Tabla 27. Contenido de humedad de la grava y la arena.....	52
Tabla 28. Densidad real del cemento	52
Tabla 29. Datos de los ensayos para calcular la dosificación $f'c=240\text{kg/cm}^2$	53
Tabla 30. Cálculo de la dosificación por peso $f'c=240\text{kg/cm}^2$	53
Tabla 31. Cálculo de la dosificación por volumen $f'c=240\text{kg/cm}^2$	54
Tabla 32. Corrección a la dosificación para cilindros de $f'c=240\text{kg/cm}^2$	54
Tabla 33. Propiedades del hormigón fresco de los cilindros de prueba.....	55
Tabla 34. Peso específico de los cilindros de prueba.....	55
Tabla 35. Resistencia a compresión de los cilindros de prueba	55
Tabla 36. Rango de resistencias del hormigón según la edad para 240kg/cm^2	56
Tabla 37. Dosificación para 15 cilindros hormigón de $f'c=240\text{kg/cm}^2$	57
Tabla 38. Dosificación de hormigón con agregado reciclado $f'c=240\text{kg/cm}^2$	57
Tabla 39. Propiedades del hormigón fresco de los cilindros definitivos	58
Tabla 40. Peso específico del hormigón fresco de los cilindros definitivos	59
Tabla 41. Propiedades de las probetas cilíndricas (HS-0AR%) antes de ser expuestas al fuego.....	61
Tabla 42. Propiedades de las probetas cilíndricas (HS-0AR%) después de ser expuestas al fuego	62
Tabla 43. Propiedades de las probetas cilíndricas (HS-15AR%) antes de ser expuestas al fuego.....	64
Tabla 44. Propiedades de las probetas cilíndricas (HS-15AR%) después de ser expuestas al fuego	65
Tabla 45. Propiedades de las probetas cilíndricas (HS-30AR%) antes de ser expuestas al fuego.....	67
Tabla 46. Propiedades de las probetas cilíndricas (HS-30AR%) después de ser expuestas al fuego	68
Tabla 47. Daños producidos en las probetas cilíndricas (HS-0AR%) después de exponerse al fuego.....	72

Tabla 48. Daños producidos en las probetas cilíndricas (HS-15AR%) después de exponerse al fuego.....	73
Tabla 49. Daños producidos en las probetas cilíndricas (HS-30AR%) después de exponerse al fuego.....	75
Tabla 50. Resistencia a compresión de los cilindros (HS-0AR%) después de exponerse al fuego.....	76
Tabla 51. Resistencia a compresión de los cilindros (HS-15AR%) después de exponerse al fuego.....	77
Tabla 52. Resistencia a compresión de los cilindros (HS-30AR%) después de exponerse al fuego.....	78

RESUMEN EJECUTIVO

Debido a que el hormigón es un material ampliamente utilizado en la construcción caracterizado por su alta resistencia a la compresión, factores como el fuego podrían provocar problemas en su funcionalidad interna y externa. Dicho esto, el objetivo de esta investigación es analizar el comportamiento que tendrá el concreto con agregado reciclado, proveniente de hormigones residuales, cuya finalidad es obtener resultados experimentales que demuestren como el fuego afecta en su resistencia a compresión.

Para esta investigación experimental se utilizará el método de la densidad óptima para diseñar la dosificación con una resistencia de 240 kg/cm², dentro de los cuales se elaboraron 45 probetas cilíndricas, repartidas 15 cada una con reemplazos del 0, 15 y 30 por ciento de agregado natural por agregado reciclado. Las probetas después de ser curadas a los 28 días de edad fueron sometidas a fuego directo mediante un horno de fundición. Con la ayuda de un pirómetro fueron controladas las temperaturas que fueron expuestas, las cuales van desde 0, 250, 400, 600 hasta los 800 grados centígrados durante un lapso de tiempo determinado. Para cada temperatura se ensayarán 3 muestra cilíndricas de hormigón. Una vez expuestas al fuego pasaron a un periodo de enfriamiento de 24 horas, para posteriormente ser ensayadas a compresión.

De los resultados obtenidos se presenta que la resistencia a compresión va disminuyendo en función de cada aumento de temperatura viéndose desfavorables aquellas probetas que fueron reemplazadas con un 30 por ciento de AR, además de ello se presentaron varias patologías como agrietamientos, fisuras, cambios de color y el fenómeno de desconchado o spalling.

Palabras clave: Hormigón reciclado, agregado reciclado, fuego, temperatura, resistencia a compresión.

ABSTRACT

Because concrete is a material widely used in construction characterized by its high compressive strength, factors such as fire could cause problems in its internal and external functionality. That said, the objective of this research is to analyze the behavior that concrete with recycled aggregate will have, coming from residual concrete, whose purpose is to obtain experimental results that demonstrate how fire affects its compressive strength.

For this experimental investigation, the optimal density method will be used to design the dosage with a resistance of 240 kg/cm², within which 45 cylindrical test tubes were made, distributed 15 each with replacements of 0, 15 and 30 percent of natural aggregate by recycled aggregate. The specimens, after being cured at 28 days of age, were subjected to direct fire by means of a smelting furnace. With the help of a pyrometer, the temperatures that were exposed were controlled, which range from 0, 250, 400, 600 to 800 degrees Celsius during a determined period of time. For each temperature, 3 cylindrical concrete samples will be tested. Once exposed to the fire, they were cooled for 24 hours, to later be tested for compression.

From the results obtained, it is shown that the compressive strength decreases as a function of each increase in temperature, looking unfavorable to those specimens that were replaced with 30 percent RA, in addition to this, various pathologies such as cracks, fissures, color changes and the phenomenon of chipping or spalling occurred.

Keywords: Recycled concrete, recycled aggregate, fire, temperature, compressive strength

CAPITULO I.- MARCO TEÓRICO

1.1 Antecedentes Investigativos

El hormigón, con el pasar del tiempo se ha ido caracterizando como un elemento indispensable para las obras civiles debido a sus excelentes propiedades de resistencia mecánica y al fuego. Además, es considerado un material muy esencial puesto que, está formado de elementos importantes como el cemento, fragmentos o partículas de agregado (arena y grava), y por último la importancia de adición del agua y/o aditivos. Dichas partículas de agregados dependerán básicamente de algunos factores como su diámetro y forma [1]. Sin embargo, existe la posibilidad de reemplazar algunos residuos sólidos con el fin de incorporarlos como parte de agregado en el hormigón, siendo objeto de estudio el hormigón reciclado.

Debido al rápido crecimiento urbano, social y económico, el desarrollo en la producción de residuos de construcción y demolición ha aumentado en varias partes del mundo, lo que genera que grandes cantidades de escombros de construcción sean la principal causa y preocupación de problemas ambientales hoy en día [2].

En la actualidad, la generación de escombros por parte de la demolición de hormigones, se calcula alrededor de los mil millones de toneladas por año. Por ejemplo, en EE. UU de los 850 millones de toneladas que representa la construcción, más del 30% es considerado total de residuos. Debido a esto hoy en día se desarrollan grandes vertederos de almacenamiento de residuos de construcción, convirtiéndose así en un problema de contaminación ambiental para el ser humano. Algunos países desarrollados han atribuido leyes para restringir los residuos cobrando una tasa de impuesto por cada área de residuo, lo que nos lleva a cuestionar sobre la conservación de las fuentes naturales sobre el uso de áridos vírgenes [3]

Así mismo, según estudios realizados, cada año se produce más de dos mil millones de toneladas de agregados lo cual se generó una proyección en aumento para el año 2020 una producción de 2500 millones de toneladas [4].

Debido a todo esto, una solución factible es reciclar el hormigón que es demolido, produciendo así un nuevo árido con propiedades similares que pueda ser parte del mismo hormigón estructural. No obstante, alrededor del mundo, solo una pequeña fracción han llevado a cabo la producción de nuevas construcciones con agregado

reciclado, sin considerar sus aprovechamientos en la parte ambiental y económica [5]. Quizás el motivo de esto puede deberse a un bajo conocimiento sobre las propiedades del agregado reciclado (AR) y su resistencia a la compresión.

A nivel internacional ya se emplea el uso de hormigón reciclado; es decir, en algunos países europeos existe una normativa que menciona porcentajes de sustitución del AR. Por ejemplo, en Alemania rige la sustitución dependiendo del tipo de árido y las condiciones en las que se encuentra, limitándolas hasta valores entre el 25% y 45%; en Bélgica y Dinamarca se aprueba hasta el 100%. Por otro lado, en normas españolas toleran hasta un 20% máximo siempre y cuando sea proveniente de una trituración y tenga valores de absorción menores al 7% [6].

En cuanto a Ecuador, no existe una normativa o lineamientos que involucre el material reciclado, o al menos que menciona sobre una gestión adecuada, o un tratamiento de los desperdicios que ayude a garantizar una adecuada sostenibilidad final de los restos de material que se obtiene en cada una de las etapas de construcción [7]. Sin embargo, existen estudios o investigaciones a nivel nacional las cuales demuestran similares criterios y resultados sobre el hormigón reciclado, de su importancia y beneficio dentro de un hormigón común, es evidente recalcar que la mayoría de información demuestra que el AR es y puede ser un remplazo beneficioso dentro del hormigón normal para la elaboración de futuras edificaciones.

Por otro lado, el comportamiento del hormigón frente a agentes agresivos como la acción térmica ha sido objeto de estudio durante mucho tiempo, especialmente en los campos de la tecnología e investigación, con la finalidad de tener un conocimiento más claro y preciso sobre la duración de los hormigones [8].

Hoy en día, los incendios producidos en edificaciones ya sean grandes o pequeñas son sucesos que amenazan la seguridad no solo de las personas sino también de la propia estructura. En general, se han ido desarrollando normativas cada vez más estrictas que mencionan la forma de prevenir y minimizar los efectos del fuego sobre las estructuras. Sin embargo, la probabilidad de que ocurra un incendio no se puede descartar, más aún en aquellas edificaciones donde se sitúan una gran cantidad de personas como oficinas, hospitales, centros comerciales, es decir, donde el riesgo es aún mayor[9].

En Brasil, existe una preocupación por la acción de incendios que se genera en la mayoría de edificios, lo que hace más común que tanto ingenieros como arquitectos sean más requeridos para evaluar y estudiar la estructura con el fin de salvar sus elementos después del incendio [10].

Por otra parte, El Comercio 2021 [11] citado por Proaño [12] menciona que, en el Ecuador, en los últimos años se han producido diversos incendios estructurales que contemplan alrededor del 35% del total de los siniestros registrados en el país. Actualmente existe normativas y diversas leyes que hablan sobre la defensa y prevención contra incendios, las cuales son dirigidas por el Ministerio de Inclusión Económica y Social mediante el cuerpo de bombero de cada localidad, no obstante, no existe un seguimiento inicial en la autoridad de concesión de permisos que involucren espectáculos públicos o en las diversas razones que generen condiciones de vulnerabilidad debido a un bajo control de riesgos por incendio [13].

En cuanto al hormigón frente al fuego, posee un buen comportamiento, es decir, tiene la capacidad de soportar cargas, resistencia a la transferencia de calor y de penetración de la llama, además tiene una baja conductividad térmica, ser incombustible y no liberar gases tóxicos [10],[14].

Sin embargo, se sabe también, que la exposición al fuego en grandes temperaturas y duraciones generan fenómenos físicos y químicos, que provocan una afectación y disminución a las propiedades mecánicas del concreto. Dentro de las cuales se destaca como principal en la resistencia a la compresión, seguido en la resistencia a tracción, y por último en el módulo de elasticidad, respectivamente de los materiales acero y hormigón [15].

Entre las causas que generalmente pueden llevar a cabo el colapso de una estructura está la temperatura máxima expuesta, el tiempo sometido al fuego, el tipo de estructura, los elementos del hormigón y la velocidad de enfriamiento [15].

En estudios anteriores a nivel internacional se encuentra Diana Castro [16] en su investigación sobre el: “*Comportamiento del concreto a altas temperaturas con material reciclado: polvo de caucho y vidrio sódico cálcico*” quiso comprobar como las elevadas temperaturas del fuego afectarían en la funcionalidad interna y externa de elementos de concreto usando material reciclado. Para lo cual, elaboró un diseño de

mezcla de hormigón agregando como reemplazo parcial del agregado fino material reciclado, proveniente de caucho de neumáticos en desuso y vidrio sódico cálcico procedente de envases de botella.

En su investigación experimental, realizó dos dosificaciones para resistencias de 210 y 280 kg/cm² con un reemplazo parcial del agregado fino por reciclado del 10%, 20% y 30%. Dividió las muestras en dos grupos, el uno fue destinado para conocer su comportamiento físico y mecánico en periodos de curado a los 7, 14, 21 y 28 días. Y el segundo grupo para conocer el comportamiento de las muestras expuesto a altas temperaturas con intervalos de tiempo de 15, 30 y 60 min a la edad de 28 días. Para ejecutar este último utilizó un horno artesanal con ayuda de un termostato para controlar la temperatura y una termocupla tipo k para detectar la temperatura. Demostrando así que el mejor resultado para ambas resistencias fue con el 30% de sustitución de material reciclado.

Por otro lado, Susan De Los Santos Miranda [17] en su trabajo final de máster denominado: *“Desarrollo de hormigones resistentes al fuego con áridos reciclados procedentes de una planta de residuos de construcción”* menciona que el hormigón después del agua es el segundo material más usado alrededor del mundo, con lo cual con su investigación tiene como objetivo obtener una respuesta clara y concreta sobre el desarrollo de hormigones elaborados a partir de áridos reciclados que provienen de residuos de construcción y demolición (RCD). Así como también, determinar su resistencia a la compresión, al fuego, entre otros parámetros que caracterizan al hormigón, y de esta forma saber si realmente el hormigón reciclado puede suplantar en su defecto al hormigón convencional.

El autor menciona que gracias a la resistencia al fuego que tiene un hormigón con áridos naturales, la resistencia que presentaría el hormigón elaborado con áridos reciclados sería francamente efectiva, pues claramente este contendría restos de cemento, yeso, etc. Sin embargo, dicho autor recomienda realizar ante cualquier caso ensayos de resistencia al fuego.

Asimismo, la plataforma [18] de gestión del: *“Conocimiento de la Construcción (CDC)”* menciona que un grupo de investigadores de la Universidad Politécnica de Madrid (UPM), desarrolló un mortero a base de material reciclado de fibras como

subproducto para su elaboración, donde demostraron que dicho material ofrece valores de resistencia, permeabilidad y absorción muy cercanas a los morteros con fibras naturales. Además, se tiene resultados que mencionan que dichos morteros reciclados ofrecen un buen comportamiento a la acción del fuego, pues esta incorporación de residuos de fibras ayuda a mantener sus propiedades mecánicas que evitarían el desprendimiento explosivo de los morteros.

También se menciona que, en la investigación realizada por J. Trinidad [19] denominada: *“Estudio del comportamiento del concreto sometido a alta temperatura”*, desarrollaron una evaluación del concreto cuando este se encuentre sometido a intervalos de temperatura de 0°C, 300°C, 500°C, 750°C, y 1000°C con el fin de poder determinar cada una de sus propiedades.

Dentro de su metodología fabricaron 30 muestras de cilindros de hormigón de 20 cm de alto y 10 cm de diámetro, para lo cual, 10 de estos fueron reforzados con acero de 3/8” y 20 sin acero; usaron una relación agua/cemento comúnmente utilizando 0.65 y una resistencia de fluencia del acero de 4200 kg/cm².

Los resultados obtenidos de la investigación arrojan un deterioro de las probetas, comenzando con la aparición de grietas, desmoronamientos y desprendimientos del material en función del aumento de temperatura. En el concreto existió una pérdida de resistencia a la compresión que va desde el 20% con una temperatura de 500°C, al 80% con una temperatura mayor de 750 °C, lo que relaciona claramente con los cambios químicos que se producen en la pasta de cemento debido a una deshidratación del mismo. En cuanto al acero, este presenta una baja resistencia a la fluencia por la afectación del fuego a su microestructura. Dichos resultados fueron recogidos con la ayuda de análisis de microscopía electrónica de barrido, espectroscopia infrarroja, espectroscopia de rayos X y por último dirección de rayos X.

Por último, en la investigación dada por Zega, Taus y Maio [20] denominada: *“Comportamiento físico-mecánico de hormigones reciclados elaborados con canto rodado”* menciona que, en la resistencia a compresión del hormigón un factor claro es la textura superficial que tiene el agregado grueso, ya que, este es el que modifica su adherencia con el motero, por lo tanto, los agregados reciclados provenientes de la demolición y trituración de hormigones desechos tienen una textura superficial más

irregular que la de un agregado natural, por lo que al final afectaría en las propiedades y características de los hormigones si es reemplazado en un porcentaje parcial o total.

Dicho esto, la investigación muestra los resultados obtenidos de la fabricación de hormigones elaborados con un reemplazo del agregado grueso natural por agregado grueso reciclado, proveniente este último de hormigones residuales realizados con canto rodado, en porcentajes de 50, 75 y 100%.

Como resultados obtenidos en su investigación, menciona niveles de resistencia muy parecidos a los de un hormigón con árido naturales. Sin embargo, el hormigón con áridos reciclados (AR) presenta una menor densidad y mayor capacidad de absorción de agua, esto es debido a la presencia de mortero que se encontraba en el hormigón al momento de ser triturado. Además, de generar una reducción en el asentamiento y una disminución en el módulo de elasticidad cuando se va aumentando el porcentaje de AR.

En cuanto a estudios de carácter nacional se menciona a Jefferson Toscano [21] con su tema de investigación experimental sobre la *“Evaluación del efecto de altas temperaturas en la resistencia a la compresión y flexión de un hormigón polimérico”* el cual realizó un diseño de hormigón utilizando resina de poliéster con la finalidad de obtener un material compuesto de alta resistencia. Para su dosificación utiliza el método de la Densidad Óptima y realizó 12 muestras para el ensayo a compresión y 12 muestras para el ensayo a flexión. Los especímenes realizados después de su curado al ambiente a los 7 días fueron sometidas a intervalos de temperatura de 100°C, 150°C, 200°C y 250°C a través de un horno a gas durante un tiempo de 30 min y 1 hora. La temperatura tuvo un crecimiento constante de 4°C/min, sin embargo, respecto a los resultados se presenta una anomalía en la resistencia a compresión y flexión, ya que esta se ve afectada directamente por la temperatura y el tiempo de exposición al fuego, observándose así, problemas después de los 200°C; para la resistencia a compresión se alcanzó un valor máximo de 84 MPA, mientras que para flexión un valor máximo de 27 MPA.

Por otro lado, el autor Carlos Contreras [22] en su investigación experimental sobre el: *“Concreto con áridos reciclados”* realizó un estudio sobre el análisis de los residuos de construcción mediante la elaboración de diferentes dosificaciones a través de un

reemplazo parcial y total del agregado natural por el agregado reciclado. Planteándose una resistencia de diseño de 210 kg/cm² y una sustitución del 0%, 20%, 40%, 60%, 80% y 100%.

En sus resultados finales, menciona que existen algunas desventajas físicas y mecánicas del árido reciclado ya que está compuesto por un árido natural y mortero adherido, lo que conlleva en sí a tener: mayor porosidad, mayor absorción, mayor adherencia a nuevos agregados, baja densidad y afectación en su resistencia. Sin embargo, el autor menciona que se puede obtener excelentes resultados dependiendo del diseño de la mezcla y los porcentajes de reemplazo. Por ejemplo, en sus resultados de los ensayos a compresión y flexión, pudo evidenciar que el hormigón con un reemplazo de hasta el 40% puede llegar a obtener niveles altos de resistencia aun superando al hormigón convencional elaborado con áridos naturales.

Asimismo, en la investigación elaborada por Edgar Chacón y Gladys Lema [23] sobre el “*Estudio comparativo de elementos fabricados de hormigón con material reciclado PET y hormigón convencional*” demuestran una comparación entre las propiedades físicas (peso específico, trabajabilidad, absorción, porosidad y temperatura) y las propiedades mecánicas (resistencia a la compresión, flexión, tracción indirecta, módulo de elasticidad, adherencia, velocidad y resistencia al fuego) del hormigón tradicional y el hormigón con varios porcentajes de sustitución de material fino por el polietileno tereftalato en porcentajes del 10%, 25%, 50% y 75%.

En sus resultados obtenidos, menciona que no existe una disminución importante en la resistencia a compresión al reemplazar el volumen del fino con PET hasta un 25%, además, en cuanto a los otros parámetros como resistencia a tracción, módulo de rotura presentan un comportamiento muy similar al del hormigón convencional. El peso específico presenta una disminución debido a que se reemplaza con una materia de menor peso que el agregado natural, así como también una reducción en su capacidad de absorción.

Por otra parte, existe un crecimiento del 26.5% en la adherencia debido a que el PET posee una mayor fuerza de fricción; una reducción de velocidad de pulso ultrasónico del 12%; y en cuanto a la resistencia al fuego presenta una disminución mayor que el hormigón convencional debido a al mal comportamiento del material reciclado.

Finalmente, en estudios a nivel local o institucional, el autor Giovanni Alvarado [24] en su tema de investigación experimental sobre el: “*Estudio del comportamiento del concreto estructural expuesto al fuego*” analizó los efectos de la resistencia a flexión que tendrá un elemento de hormigón armado cuya resistencia de diseño es de 210 kg/cm² para el concreto y fluencia de 4200 kg/cm² para el acero, después de estar sometido a altas temperaturas en un intervalo de 750°C a 1050°C durante un tiempo creciente cada 30 min.

Para el proceso de quemado el autor utilizó un horno de fundición, en el cual se aplicó fuego directo con la ayuda de un venterol y un crisol con forma circular, de manera que este último hacía ingresar aire simultáneamente con el combustible lo que producía que el fuego se esparza homogéneamente sobre todo el elemento. Después de ello, el elemento atravesó un proceso de enfriamiento durante un lapso de 24horas, para luego ser ensayado a flexión con cargas puntuales a 1/3 de luz.

Dentro de los resultados se comprobó que existe una disminución en la resistencia mayor al 50% cuando se atraviesa temperaturas mayores a los 900°C, además de una reducción en peso del 21% y cambios físicos en su estructura, además de la presencia de cambios de color, fisuras y agrietamientos.

De la misma manera, el autor Larot Mayorga [25] en su investigación experimental recientemente publicada sobre la: “*Resistencia a compresión del hormigón preparado a partir de materiales reciclados*” analiza el porcentaje óptimo de agregado reciclado grueso que puede ser reemplazado por el agregado grueso natural y como este influiría en la resistencia a compresión de probetas cilíndricas de concreto. Para lo cual, el autor realizó varias dosificaciones para una resistencia de 210 kg/cm², pero con reemplazo parcial y total del AR del 10%,15%,30%,60% y 100% en función al peso total del agregado natural.

El autor elaboró muestras cilíndricas de concreto normal y reciclado, con tamaño de 10 cm de diámetro y 20cm de altura, las cuales fueron ensayadas a los 7, 14 y 28 días de curado. Dando como resultado que, mayor contenido de agregado reciclado su resistencia va decayendo, evidenciando así que es viable sustituir el árido reciclado grueso solo hasta porcentajes menores al 30%, pues es claro observar que reemplazos

del 10% y 15% presenta excelentes valores de resistencia llegando a obtener 214.54 kg/cm² y 211.57kg/cm² a los 28 días de edad.

Dicha investigación final será de base para el planteamiento del presente proyecto, puesto que tiene su fundamentación técnica en el ensayo a compresión, además de evidenciar los porcentajes óptimo de sustitución del agregado reciclado grueso.

1.2 Justificación

El propósito de la presente investigación nace de la carencia de un estudio que incorpore analizar las propiedades del hormigón estructural expuesto a altas temperaturas y su resistencia que tendrá elaborado a partir de áridos reciclados obtenidos de hormigones demolidos de la ciudad de Ambato, provincia de Tungurahua.

El uso de desechos de construcción y demolición como un reemplazo ya sea parcial o total del agregado grueso o fino tiene su respectiva justificación fundamentalmente con cuestiones medioambientales, reducción en costos de material y la conservación de recursos naturales[26]. Es decir, el empleo de los AR (Áridos Reciclados) conlleva a beneficios de utilizar un material de desecho el cual disminuiría cantidades depositadas en zonas inadecuadas, además de reducir cantidad de agregados naturales que se extraería de fuentes no renovables[27] .

Según varias investigaciones a nivel mundial realizadas con hormigón reciclado, se ha demostrado que la sustitución de áridos reciclados (en un porcentaje adecuado) puede igualar o mejorar las propiedades mecánicas que un hormigón de origen convencional [28]. Sin embargo, no existe una investigación específica que permita analizar la resistencia o el tipo de daño que puede presentar un hormigón elaborado a partir de material reciclado ante la presencia de un incendio.

Según Jaime Gómez de la revista “Noticreto” menciona que después de alcanzar los 400°C de exposición al fuego, se comienza a evaporar el agua del gel del cemento y a partir de aquí se puede observar la pérdida de resistencia del elemento [29]. Sin embargo, las temperaturas máximas promedios que generalmente pueden alcanzar un incendio es alrededor o mayor a las 1000°C con un tiempo relativamente exponencial para alcanzar dichas temperaturas, es decir, se llega a los 800°C antes de los 60

minutos, recalcando que a los 30 minutos se obtiene un fuego totalmente desarrollado, lo cual facilita una fácil propagación en el elemento [30].

Otro factor importante en la exposición al fuego es la porosidad de los agregados, el cual tiene una gran influencia en el concreto dependiendo de la temperatura, tamaño o humedad, por lo que un agregado más poroso puede ser más sensible a una expansión destructiva [31].

En base a lo anterior, es de vital importancia realizar una investigación que determine el comportamiento de la sustitución del AR cuando esté sometido a altas temperaturas, por lo que la presente investigación ayudará a identificar de forma clara y específica la influencia en la resistencia de un elemento de concreto de material reciclado (agregado grueso) cuando está sometido a fuego, permitiendo así establecer parámetros de control para un adecuado uso del material en las futuras edificaciones, conociendo su comportamiento y ampliando la investigación de dicho tema.

1.3 Objetivos

Objetivo General

Determinar la influencia del fuego en la resistencia a la compresión del concreto elaborado a partir de material reciclado, a los 28 días de edad para una resistencia de 240 kg/cm²

Objetivos Específicos

- Realizar ensayos de laboratorio del material obtenido a partir de hormigón reciclado
- Desarrollar probetas de hormigón a base de material reciclado reemplazando el agregado grueso en un porcentaje óptimo del 15 y 30%.
- Elaborar la curva resistencia vs temperatura para determinar el comportamiento del material.
- Comparar los resultados entre las muestras de hormigón elaborado a partir de material reciclado y material normal sometido a fuego.

CAPITULO II.- METODOLOGÍA

2.1 Materiales

Para la descripción de los materiales utilizados en el siguiente trabajo experimental, se realizó en base a cada uno de los objetivos específicos planteados anteriormente:

Materiales para el cumplimiento del objetivo 1

- Objetivo 1: *Realizar ensayos de laboratorio del material obtenido a partir de hormigón reciclado*

Este objetivo se basa en la elaboración de los ensayos respectivos de los materiales que serán parte del concreto (agregado fino, agregado grueso, material reciclado y cemento). Dentro los cuales los materiales empleados para cada ensayo son:

Ensayo	Normativa	Materiales/ Equipos	Detalle
Análisis granulométrico del agregado grueso	ASTM C 136 NTE INEN 696	Grava	<ul style="list-style-type: none"> - Origen: Planta Industrial de Trituración de Áridos “Las Viñas” Ambato - Tipo: triturada - Tamaño: 3/4” - Cumple con la normativa: NTE INEN 872 [32]
		Material reciclado	<ul style="list-style-type: none"> - Origen: demolición de aceras y bordillos de la ciudad de Ambato - Tipo: agregado triturado - Tamaño: 3/4” - Cumple con la normativa: NTE INEN 872 [32]
		Tamices metálicos con abertura: 2”, 1 1/2”, 1”, 3/4”, 1/2”, 3/8”, #4 y bandeja	<ul style="list-style-type: none"> - Origen: Laboratorio de civil de la Universidad Técnica de Ambato - Geometría: cuadrados - Dimensiones: 50x50cm

		Balanza electrónica en kg	<ul style="list-style-type: none"> - Origen: Laboratorio de civil de la Universidad Técnica de Ambato - Geometría: cuadrado - Marca: Kern - Precisión: 1 gramo - Capacidad: 30 kg
Análisis granulométrico del agregado fino	ASTM C 136 NTE INEN 696	Arena	<ul style="list-style-type: none"> - Origen: Planta Industrial de Trituración de Áridos “Las Viñas” Ambato - Tipo: natural - Tamaño: fino - Cumple con la normativa: NTE INEN 872 [32]
		Tamices con abertura: 3/8”, #4, #8, #16, #30, #50, #100, #200 y bandeja	<ul style="list-style-type: none"> - Origen: Laboratorio de civil de la Universidad Técnica de Ambato - Material: metal - Geometría: redondos - Diámetro: 20 cm
		Tamizadora eléctrica	<p>Se utilizó para cernir la arena apilada en orden de mayor abertura a menor abertura de forma automática mediante vibraciones</p> <ul style="list-style-type: none"> - Origen: Laboratorio de civil de la Universidad Técnica de Ambato - Marca: Controls - Capacidad: 15 tamices - Voltaje: 110 a 220 V - Temporizador: hasta 30 min

		Balanza electrónica en gr	<ul style="list-style-type: none"> - Origen: Laboratorio de civil de la Universidad Técnica de Ambato - Geometría: cuadrado - Marca: Boeco - Precisión: 0.1 gramos - Capacidad: 6100 gr
<ul style="list-style-type: none"> - Densidad aparente suelta y compactada de los agregados fino y grueso - Densidad aparente compactada de la mezcla 	ASTM C 29 NTE INEN 858	Arena y ripio	<ul style="list-style-type: none"> - Origen: Planta Industrial de Trituración de Áridos “Las Viñas” Ambato - Ripio: triturada, tamaño 3/4” - Arena: natural, tamaño fino - Cumple con la normativa: NTE INEN 872 [32]
		Material reciclado	<ul style="list-style-type: none"> - Origen: demolición de aceras y bordillos de la ciudad de Ambato - Tipo: grava triturada - Tamaño: 3/4” - Cumple con la normativa: NTE INEN 872 [32]
		Molde metálico para densidad aparente	<p>Se utilizó para poder obtener la densidad aparente suelta y compactada de la arena y ripio según la normativa ASTM C29 [33]</p> <ul style="list-style-type: none"> - Origen: Laboratorio de civil de la Universidad Técnica de Ambato - Material: acero - Geometría: redondos - Dimensiones: 30 x 30cm - Peso: 9.83kg

		<p>Varilla compactadora</p>	<p>Fue utilizado para quitar los vacíos de aire que quedan atrapados al verter el material.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Origen: Laboratorio de civil de la Universidad Técnica de Ambato - Material: acero - Geometría: largo y redondo - Dimensiones: 610x16mm - Peso: 1.089kg
		<p>Balanza electrónica grande en kg</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Origen: Laboratorio de civil de la Universidad Técnica de Ambato - Geometría: rectangular - Marca: Matest - Dimensiones: 45x60cm - Precisión: 1 gramo - Capacidad: 150 kg
<p>Densidad real y capacidad de absorción del agregado grueso</p>	<p>ASTM C 127 NTE INEN 857</p>	<p>Grava</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Origen: Planta Industrial de Trituración de Áridos “Las Viñas” Ambato - Tipo: triturada, tamaño: 3/4” - Cumple con la normativa: NTE INEN 872 [32]
		<p>Canastilla metálica</p>	<p>Fue utilizado para obtener el peso del agregado dentro y fuera del agua.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Origen: Laboratorio de civil de la Universidad Técnica de Ambato - Material: acero inoxidable con malla cuadrada N°8 - Dimensiones: 203 x 203 mm - Peso: 1.17 kg

		Balde con agua	<p>Se utilizó para sumergir la canastilla dentro del agua.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Origen: Laboratorio de civil de la Universidad Técnica de Ambato - Material: plástico - Dimensiones: 35x40cm
		Balanza electrónica en kg	<ul style="list-style-type: none"> - Origen: Laboratorio de civil de la Universidad Técnica de Ambato - Geometría: cuadrado - Marca: Kern - Precisión: 1 gramo - Capacidad: 30 kg
		Horno eléctrico	<p>Se utilizó para secar las muestras de ripio con la finalidad de obtener la capacidad de absorción</p> <ul style="list-style-type: none"> - Origen: Laboratorio de civil de la Universidad Técnica de Ambato - Marca: Controls -Voltaje: 110V-220 V - Dimensiones: (648 x 610 x 508) mm - Control de temperatura: E-Series digital regulable hasta 450°F (232°C). - Capacidad: dos parillas
Densidad real y capacidad de absorción del agregado fino	ASTM C 128 NTE INEN 856	Arena	<ul style="list-style-type: none"> - Origen: Planta Industrial de Trituración de Áridos “Las Viñas” Ambato - Tipo: natural - Tamaño: fino - Cumple con la normativa: NTE INEN 872 [32]
		Picnómetro y pipeta	<ul style="list-style-type: none"> - Origen: Laboratorio de civil de la Universidad Técnica de Ambato - Material: Vidrio Boro 33

			<ul style="list-style-type: none"> - Volumen: 500 ml - Precisión: 0.25 ml
		<p>Cono de absorción de arena y Pisón</p>	<p>Se utilizó para conocer la condición de humedad de la arena cuando esta se encuentre en estado SSS</p> <ul style="list-style-type: none"> - Origen: Laboratorio de civil de la Universidad Técnica de Ambato - Material: cono de bronce y pisón de acero - Dimensiones: cono con diámetros de 40 y 90mm; altura de 75mm. Pisón de diámetro 25.4mm y altura de 168mm
		<p>Balanza electrónica en gr</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Origen: Laboratorio de civil de la Universidad Técnica de Ambato - Geometría: cuadrado - Marca: Boeco - Precisión: 0.1 gramos - Capacidad: 6100 gr
		<p>Horno eléctrico</p>	<p>Se utilizó para secar las muestras de arena para obtener la capacidad de absorción</p> <ul style="list-style-type: none"> - Origen: Laboratorio de civil de la Universidad Técnica de Ambato - Marca: Controls - Voltaje: 110-220 V - Dimensiones: (648 x 610 x 508) mm - Control de temperatura: E-Series digital regulable hasta 450°F (232°C). - Capacidad: incluye dos parillas

Densidad real de cemento	ASTM C 188 NTE INEN 156	Cemento tipo GU	<p>Se utiliza para cualquier construcción en general donde no se requiera propiedades especiales. Además, cumple con la normativa NTE INEN 2380 vigente en Ecuador [34].</p> <ul style="list-style-type: none"> - Origen: Holcim Ecuador S.A. - Marca: Holcim Rocafuerte - Capacidad: 50 kg
		Gasolina	<p>Es un derivado del petróleo, por lo cumple con mismo objetivo que el querosén tal como dicta la norma. Además, la gasolina tiene una baja densidad que el cemento por lo que permite realizar el ensayo [35].</p> <ul style="list-style-type: none"> - Origen: Gasolinera Andina - Marca: gasolina Extra - Capacidad: galones
		Picnómetro y pipeta	<ul style="list-style-type: none"> - Origen: Laboratorio de civil de la Universidad Técnica de Ambato - Material: vidrio Boro 33 - Volumen: 500 ml - Precisión: 0.25 ml
Contenido de humedad	ASTM C 566 NTE INEN 862	Arena y ripio	<ul style="list-style-type: none"> - Origen: Planta Industrial de Trituración de Áridos “Las Viñas” Ambato - Ripio: triturada, tamaño 3/4” - Arena: natural, tamaño fino - Cumple con la normativa: NTE INEN 872 [32]
		Horno eléctrico	<ul style="list-style-type: none"> - Origen: Laboratorio de civil de la Universidad Técnica de Ambato - Marca: Controls - Voltaje: 110-220 V

			<ul style="list-style-type: none"> - Dimensiones: 648 x 610 x 508 mm - Control de temperatura: E-Series digital regulable hasta 450°F (232°C). - Capacidad: incluye dos parillas
		Recipientes para contenido de humedad	<p>Se utilizó para tomar las muestras en pequeñas porciones para posterior ser pesadas e introducidas al horno</p> <ul style="list-style-type: none"> - Origen: Laboratorio de civil de la Universidad Técnica de Ambato - Dimensiones: 5x6 cm - Geometría: redondos

Tabla 1. Material y equipos utilizados para el cumplimiento del objetivo 1

Fuente: Byron Javier Quishpe Toapanta

Materiales para el cumplimiento del objetivo 2

- Objetivo 2: *Desarrollar probetas de hormigón a base de material reciclado reemplazando el agregado grueso en un porcentaje óptimo del 15 y 30%.*

Este objetivo se basa en la fabricación de las probetas cilíndricas utilizando agregado natural (AN) y agregado reciclado (AR) en porcentajes óptimos. Los materiales empleados son:

Material: Moldes cilíndricos	
<p>Descripción:</p> <p>Son utilizados para desarrollar las muestras cilíndricas de concreto, sirve para dar la forma específica a las probetas cuyas dimensiones son: diámetro de 10 mm y altura de 20mm.</p>	<p>Detalle:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Origen: Laboratorio de civil de la Universidad Técnica de Ambato - Material: hierro - Dimensiones: internas 10mm x 20mm - Peso: 7.71 kg - Tipo de muestra: concreto - Cumple con la normativa: ASTM C39, NTE INEN 3124

Equipo: Concreteira	
Descripción: Máquina utilizada para la fabricación de hormigón, se utilizó para el mezclado en grandes volúmenes de los materiales arena, ripio, agua y cemento. Es controlado por un motor eléctrico o de combustión la cual permite girar y mover el tambor donde se colocará la mezcla.	Detalle: - Origen: Laboratorio de civil de la Universidad Técnica de Ambato - Material: hierro fundido - Tipo: eléctrica - Marca: Century - Voltaje: 110 a 220V - Motor: eléctrico - Capacidad: 10 litros - Cumple con la normativa: NTE INEN 1855-1
Material: Cono de Abrams	
Descripción: Es un instrumento que junto con una varilla compactadora sirve para medir la consistencia que tiene el hormigón. Dicha consistencia se mide en un valor de asentamiento que se obtiene al retirar el cono después de haber sido llenado hasta el borde superior en 3 capas cada una con 25 golpes, según como dicta la norma.	Detalle: - Origen: Laboratorio de civil de la Universidad Técnica de Ambato - Material: metálico - Geometría: cono - Dimensiones: base superior 100 mm; base inferior 200mm; altura 300mm - Capacidad: 5.5 lts - Cumple con la normativa: INEN 1578, ASTM C143
Material: Aceite Quemado	
Descripción: Se utilizó como un producto desengrasante. Generalmente sirve para evitar que el concreto se adhiera a las paredes del encofrado, ya sea en madera o hierro, según sea el material del molde.	Detalle: - Origen: Laboratorio de civil de la Universidad Técnica de Ambato - Material: derivado del petróleo - Capacidad: galones - Cumple con la normativa: NTE INEN 3124
Material: Varilla compactadora y martillo de goma	

<p>Descripción:</p> <p>Tal como lo dicta la norma, la varilla y el martillo de goma se utilizó para la compactación y vibración de las muestras cilíndricas de concreto. Mediante una serie de 25 y 15 golpes por cada capa respectivamente.</p>	<p>Detalle:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Origen: Laboratorio de civil de la Universidad Técnica de Ambato - Material: Varilla de acero y martillo de goma - Dimensiones: varilla: 40x1cm; Martillo: largo=35cm - Peso: 220gr y 520 gr - Cumple con la normativa: NTE INEN 1576, ASTM C31
<p>Equipo: Cámara de curado</p>	
<p>Descripción:</p> <p>Se utilizó para el curado final de los cilindros de concreto. Una vez desencofrado las muestras se procedió a colocar dentro de la cámara de curado a una temperatura de 23°C ± 2°C, la cuales deben mantenerse todo el tiempo sus superficies con agua libre.</p>	<p>Detalle:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Origen: Laboratorio de civil de la Universidad Técnica de Ambato - Dimensiones: 110x110 cm - Capacidad: 0.5 m3 - Temperatura: 22±2°C. - Cumple con la normativa: NTE INEN 2528 y ASTM C330
<p>Material: Agua</p>	
<p>Descripción:</p> <p>El agua que se utilizó para el diseño del concreto es específicamente de tipo potable, la norma que lo menciona es la NTE INEN 1108. Este tipo de agua es considerada incolora, inolora, libre de aceites, grasas y residuos orgánicos.</p>	<p>Detalle:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Origen: Laboratorio de civil de la Universidad Técnica de Ambato - Tipo: potable - Temperatura: ambiente - Adquisición: fácil - Cumple con la normativa: NTE INEN 1108
<p>Material: Badilejo, probeta de agua y recipientes</p>	
<p>Descripción:</p> <p>Herramientas que se utilizaron como complementos necesarios para la recolección y toma de las muestras de agregados que serán parte del concreto.</p>	<p>Detalle:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Origen: Laboratorio de civil de la Universidad Técnica de Ambato - Adquisición: fácil - Cumple con la normativa: NTE INEN 1576

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

Fuente: Byron Javier Quishpe Toapanta

Materiales para el cumplimiento del objetivo 3

- Objetivo 3: *Elaborar la curva resistencia vs temperatura para determinar el comportamiento del material.*

Este objetivo se basa en la creación de una curva que muestre como la temperatura afecta en la resistencia a compresión del hormigón reciclado y hormigón normal, para lo cual, antes de ello fueron sometidos a fuego directo. Los materiales empleados son los siguientes:

Equipo: Horno de Fundición	
Descripción: Es el equipo utilizado para exponer a fuego las muestras cilíndricas de concreto. Se trata de un horno para fundir metal, el cual se quema a través de fuego directo con la ayuda de un venterol y crisol de forma circular.	Detalle: <ul style="list-style-type: none">- Origen: Laboratorio de mecánica de la Universidad Técnica de Ambato- Dimensiones: Alto: 50 cm Ancho: 60 cm Profundidad: 50 cm- Tipo: artesanal- Capacidad: 3 probetas cilíndricas- Temperatura: hasta los 1000°C.- Combustible: a gas.
Equipo: Pirómetro	
Descripción: Es un equipo el cual fue utilizado para poder medir la temperatura del horno. Gracias a su capacidad para detectar la radiación térmica, permite observar la superficie incandescente a través de componente ópticos y estimar así con exactitud el valor de la temperatura. Toma mediciones de los -50°C a 4000°C [36]	Detalle: <ul style="list-style-type: none">- Origen: Laboratorio de mecánica de la Universidad Técnica de Ambato- Marca: CEM- Modelo: DT-8867H- Peso: 250 gr- Rango: -50°C a 1650°C- Temperatura: °F/°C
Equipo: Maquina de compresión	
Descripción: Es un equipo utilizado para realizar el ensayo a compresión de las probetas cilíndricas de concreto, tal como lo dicta	Detalle: <ul style="list-style-type: none">- Origen: Laboratorio de civil de la Universidad Técnica de Ambato- Marca: Shimadzu- Modelo: 2000x.

<p>la norma y lograr así obtener los resultados de resistencia finales.</p> <p>La máquina a compresión utiliza presión hidráulica con capacidades de hasta 5000KN, permite ensayar materiales tales como concreto, bloques, ladrillos, adoquines, etc. [37]</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Tipo: hidráulica a prueba de explosiones - Capacidad: 40 a 2000 KN - Software: Trapezium X - Cumple con la normativa: NTE INEN 1573, ASTM C39, ASTM C133.
---	--

Tabla 3. Material y equipos utilizados para el cumplimiento del objetivo 3

Fuente: Byron Javier Quishpe Toapanta

Materiales para el cumplimiento del objetivo 4

- *Objetivo 4: Comparar los resultados entre las muestras de hormigón elaborado a partir de material reciclado y material normal sometido a fuego.*

Este objetivo se basa en el análisis de datos que se obtuvo al medir la resistencia a compresión del hormigón normal y reciclado después de ser expuestos al fuego.

Dentro de este objetivo no fue necesario el uso de materiales por lo que no se describe.

2.2 Métodos

Con la finalidad de lograr dar cumplimiento a los objetivos planteados en el siguiente trabajo experimental se definió 5 etapas las cuales se describen a continuación:

	Etapas	Tipo de investigación	Objetivo Específico
1	Preliminar (Obtención del material y bibliografía)	- Bibliográfica - De campo	
2	Propiedades mecánicas de los agregados	- De laboratorio	Realizar ensayos de laboratorio del material obtenido a partir de hormigón reciclado
3	Elaboración de probetas cilíndricas de hormigón normal y reciclado	- De laboratorio	Desarrollar probetas de hormigón a base de material reciclado reemplazando el agregado grueso en un porcentaje óptimo del 15 y 30%.
4	Exposición al fuego de las probetas cilíndricas	- Exploratorio	Elaborar la curva resistencia vs temperatura para determinar el comportamiento del material
5	Ensayo de resistencia a compresión	- Descriptivo	Comparar los resultados entre las muestras de hormigón elaborado a partir de material reciclado y material normal sometido a fuego

Tabla 4. Resumen de las etapas dividida del proyecto

Fuente: Byron Javier Quishpe Toapanta

2.2.1 Etapa 1. Preliminar (Obtención de material y bibliografía)

La primera etapa de esta investigación es de tipo previa al proceso, es decir, una etapa la cual es necesario llevar algunas actividades preparatorias para dar inicio a los objetivos planteados. Por lo que, dentro de esta etapa se engloba la obtención de información bibliográfica y la obtención de la materia prima para la fabricación del hormigón normal y reciclado.

2.2.1.1 Obtención de información bibliográfica

Para esta actividad se utilizó el tipo de investigación bibliográfica, puesto que se recolectó de forma primordial la información basada en libros, revistas, artículos, periódicos o documentos generales que permitan ayudar con la información posible para el proyecto.

Dentro de la investigación se tomaron en cuenta estudios relacionados al hormigón reciclado y al sometimiento del fuego, cuyos resultados y metodología nos permitieron tener una guía importante sobre el proceso y normativa que debemos seguir y mencionar.

2.2.1.2 Obtención de la materia prima

En esta etapa se utilizó una investigación de campo debido a que se lleva a cabo fuera del laboratorio de civil de la Universidad Técnica de Ambato y la adquisición de los materiales empleados que se encuentran en la naturaleza.

➤ Agregados pétreos

Para la obtención de la grava y arena se visitó la planta industrial de trituración de áridos las Viñas ubicado en la ciudad de Ambato, provincia Tungurahua, la cual cuenta con una gran variedad de agregados pétreos, como ripio normal, ripio triturado tamaño 1", 3/4", 3/8"; arena normal y arena lavada. Sus coordenadas son las siguientes:

Punto	A
Zona	17 Sur
Coordenada Norte	9862318.27 m S
Coordenada Este	769138.81 m E

Tabla 5. Coordenadas de la planta de trituración de áridos Las Viñas-Ambato
Fuente: Byron Javier Quishpe Toapanta



Figura 1. Planta de trituración de árido Las Viñas-Ambato

Fuente: Byron Javier Quishpe Toapanta

➤ **Material reciclado**

Para obtener el material reciclado, se llevaron a cabo diversas actividades. Como primer lugar se realizó la recolección de escombros producto de la demolición de aceras y bordillo de la ciudad de Ambato. Estos escombros provenían de proyectos que se encontraban en plena ejecución y, con el permiso de las autoridades se nos permitió obtener el material.

En segundo lugar, una vez que los escombros fueron cargados en costales, se trasladaron a la planta de trituración de áridos “Las Viñas” cuyas coordenadas se detallan en la tabla 5.

En tercer lugar, los grandes fragmentos de hormigón fueron llevados a la parte superior de la máquina de trituración. Mediante el uso de mandíbulas, estos fragmentos se redujeron hasta obtener pequeños fragmentos de grava. Posteriormente, se transportaron a través de bandas transportadoras que clasificaban el agregado en tamaños de 3/4", 3/8" y polvo de piedra.

Como cuarto y última actividad se recolectó el material deseado (tamaño 3/4") en costales, para luego ser transportado de vuelta a los laboratorios de ingeniería civil de la Universidad Técnica de Ambato.



Figura 2. Maquina trituradora
Fuente: Byron Javier Quishpe Toapanta



Figura 3. Obtención del material triturado
Fuente: Byron Javier Quishpe Toapanta



Figura 4. Transporte y destino del material reciclado.
Fuente: Byron Javier Quishpe Toapanta

2.2.2 Etapa 2. Propiedades de los agregados

En esta etapa se utilizó una investigación de laboratorio debido a que las actividades corresponden a realizar ensayos de cada uno de los agregados que serán parte del concreto, esto con la finalidad de conocer sus propiedades y poder calcular la dosificación, la cual será clave para fabricar las probetas cilíndricas de hormigón normal y reciclado.

Se realizaron ensayos de laboratorio del agregado grueso (grava), del agregado fino (arena), el cemento y del árido reciclado (AR), este último a pesar que fue añadido como un reemplazo parcial al final de la mezcla, se ejecutó varios ensayos con la finalidad de conocer y nombrar algunas de sus propiedades.

Cada uno de los ensayos se detallan a continuación:

N°	Ensayo	Normativa	
1	Análisis granulométrico del agregado fino y grueso	ASTM C 136	NTE INEN 696
2	Densidad aparente suelta y compactada de los agregados fino y grueso	ASTM C 29	NTE INEN 858
3	Densidad combinada de los agregados	ASTM C 29	NTE INEN 858
4	Densidad real y capacidad de absorción del agregado grueso	ASTM C 127	NTE INEN 857
5	Densidad real y capacidad de absorción del agregado fino	ASTM C 128	NTE INEN 856
6	Densidad real del cemento	ASTM C 188	NTE INEN 156
7	Contenido de humedad de los agregados	ASTM C 566	NTE INEN 862

Tabla 6. Ensayos y normativas para obtener las propiedades de los materiales

Fuente: Byron Javier Quishpe Toapanta

2.2.2.1 Análisis Granulométrico

El ensayo de granulometría se basa en la distribución de los diferentes tamaños de los granos que son parte del agregado. Es decir, se trata de un método manual o mecánico por el cual, se puede dividir las partículas según el tamaño que constituye el agregado, con la finalidad de obtener las cantidades de peso por cada una y analizar así la granulometría del material por medio del rango entre curvas que menciona la norma NTE INEN 696.

Para realizar la separación, se utiliza mallas de diferentes aberturas, en otras palabras, se determina mediante una serie de tamices llamada la serie de Tyler, donde dichas aberturas van en incremento con una relación 2 a 1, tal como menciona la tabla 7.

Tamiz	200	100	50	30	16	8	4	3/8"	3/4"	1 1/2"	3"
Abertura en mm	0.075	0.15	0.30	0.60	1.18	2.36	4.75	9.50	19.0	37.5	75.0

Tabla 7. Tamices de la serie de Tyler

Fuente: NTE INEN 872 [32]

2.2.2.2 Granulometría del agregado fino

La norma menciona que la arena para ser considerada de buena calidad y poder usarse en la fabricación del hormigón debe cumplir la granulometría recomendada dentro de los siguientes límites especificados:

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

Tabla 8. Límites especificados para el agregado fino

Fuente: NTE INEN 872[32]

Módulo de finura: es un factor clave para conocer la finura del agregado, es decir mientras más alto o bajo sea el valor, más grueso o fino será el agregado respectivamente. Dicho valor de módulo finura ha sido adoptada para nuestro medio según la norma de un rango entre 2.3 y 3,1 [32].

El módulo de finura según la ASTM C125 se obtiene:

$$MF = \frac{\%acum \#100, \#50, \#30, \#16, \#8, \#4, 3/8", 3/4", etc}{100}$$

Donde:

- *MF:* módulo de finura
- *% acum:* porcentaje retenido acumulado de los tamices mayores al #100

2.2.2.3 Granulometría del agregado grueso

Para la granulometría del agregado grueso, la norma recomienda al igual que el agregado fino un intervalo de límites especificados que debe cumplir para la fabricación del concreto.

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

Tabla 9. Límites especificados para el agregado grueso

Fuente: NTE INEN 872[32]

➤ Granulometría del agregado reciclado

Como agregado reciclado usamos la grava reciclada, donde se realizó la granulometría considerando una granulometría de agregado grueso, por lo que límites que debe cumplir son los mismo que la tabla 9. Así mismo se obtuvo el tamaño nominal máximo del agregado reciclado.

2.2.2.4 Densidad aparente suelta y compactada de los agregados

La densidad aparente es la relación que existe entre el peso del agregado y el volumen que llenan las partículas del agregado incorporado con todos los poros en estado saturado y no saturado [39]

La diferencia entre suelta y compactada, es que a este último se lo realizó golpeando la muestra en 3 capas con 25 golpes con una varilla compactadora, tal como menciona la norma NTE INEN 858.

De la misma forma se obtuvo la densidad aparente suelta y compactada del agregado grueso, agregado fino y agregado reciclado mediante la siguiente fórmula:

$$\text{Densidad aparente suelta y compactada} = \frac{M_m}{V_m}$$

Donde:

- M_m : es la masa total de la muestra del agregado
- V_m : es el volumen total que ocupado por la muestra de agregado

2.2.2.5 Densidad aparente combinada de los agregados

Al igual que el anterior se basa en obtener la densidad del material, pero en este caso usando una mezcla de ambos. Para ello tal como se muestra en la tabla 10 se debe ir agregando cantidades de arena hasta que al final se obtenga una mezcla de 40% ripio y 60% arena. Durante cada adición de arena se debe ir compactando la mezcla en 3 capas con 25 golpes, posterior a ello, se debe obtener los pesos y el volumen para calcular así la densidad por cada una. Al final de todo, con los promedios de la densidad y porcentaje de mezcla se obtuvo una curva, donde identificamos la densidad mayor y los porcentajes óptimos adecuados de la mezcla entre arena y ripio, lo que al final nos ayudó para el cálculo de la dosificación.

% Mezcla		Cantidad (kg)		Fino Añadido (kg)	Agregado + Recipiente (kg)	Agregado (kg)	Peso Unitario Mezcla (kg/dm3)	Peso Unitario Promedio (kg/dm3)
A	B	Ripio	Arena	A	Agregado fino + agregado grueso			
100.00	0.00	40.00	0.00	0.00				
90.00	10.00	40.00	4.44	4.44				
80.00	20.00	40.00	10.00	5.56				
70.00	30.00	40.00	17.14	7.14				
60.00	40.00	40.00	26.67	9.53				
50.00	50.00	40.00	40.00	13.33				
40.00	60.00	40.00	60.00	20.00				

Tabla 10. Tabla para obtener la densidad compactada de la mezcla

Fuente: NTE INEN 858[40]

2.2.2.6 Densidad real y capacidad de absorción del agregado grueso

La densidad real a diferencia de la densidad aparente se define como la relación entre el peso del agregado y el volumen que ocupa solamente la masa sólida, es decir que se excluyen todos los poros tanto saturados y no saturados [39]

La densidad real del agregado grueso está normada por la NTE INEN 857, y para obtener esta propiedad se necesita una muestra del agregado en estado SSS (saturado superficialmente seca). Se expresa con la siguiente fórmula:

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

Donde:

- $DRR =$ Densidad real del ripio
- $M_{SSS} =$ Masa en condición saturada superficie seca
- $M_{en\ agua} =$ Masa en contacto con el agua
- $M_{seco} =$ Masa en condición seca

Por otro lado, la capacidad de absorción se define como la capacidad de absorber agua que tiene un agregado después de mantenerse sumergido durante 24 horas, para lo cual, pasado este tiempo, se debe retirar la muestra y llegar a la condición SSS. Este

valor para agregado grueso se encuentra entre 0.2% a 4% [41] y se calcula con la siguiente expresión:

$$CA(\%) = \frac{M_{SSS} - M_{SECO}}{M_{SECO}} \times 100$$

Donde:

- $CA\%$ = Capacidad de absorción
- M_{SSS} = Masa en condición saturada superficie seca
- M_{SECO} = Masa en condición seca

2.2.2.7 Densidad real y capacidad de absorción del agregado fino

Para el agregado fino la normativa NTE INEN 856 menciona que se debe tener la muestra en estado SSS para calcular la densidad real y se expresa de la siguiente manera:

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

Donde:

- DRA = Densidad real de la arena
- M_{SSS} = Masa en condición saturada superficie seca
- V_{SSS} = Volumen del agua

Así mismo, la capacidad de absorción se calcula de la misma forma que del agregado grueso, y su valor generalmente está entre 0.2% a 2% [41].

2.2.2.8 Densidad real del cemento

Avalado por la NTE INEN 156, el cual menciona el procedimiento para obtener la densidad real del cemento hidráulico. Esta se define como la relación entre el peso de la masa del cemento y el volumen de líquido con una densidad más baja que el cemento (gasolina) y no reactivo [9], [24]. Los materiales empleados se mencionan en la tabla 1, y se calcula con la siguiente expresión:

$$DRC = \frac{M_C}{V_G}$$

Donde:

- *DRC = Densidad real de la arena*
- *M_C = Masa del cemento*
- *V_G = Volumen de la gasolina*

2.2.2.9 Contenido de humedad de los agregados

El ensayo de contenido de humedad nos permite describir el dato de la cantidad de agua que tiene los materiales en un tiempo determinado por lo que generalmente se expresa en porcentaje [41]. Dicho valor fue necesario obtener para la corrección de humedad dentro de la dosificación y se realizó bajo la norma NTE INEN 862

Se calcula con la siguiente expresión:

$$\%C.H. = \frac{W_W}{W_S} * 100$$

Donde:

- *%C.H = Porcentaje de contenido de humedad*
- *W_W = Peso del agua*
- *W_S = Peso de la muestra seca o solido*

2.2.3 Etapa 3. Elaboración de probetas cilíndricas de hormigón normal y reciclado

Durante esta etapa se utilizó una investigación de laboratorio debido a que las siguientes actividades corresponden a la fabricación de las muestras de concreto, por lo que es necesario la utilización de equipos y materiales que disponen los laboratorios de civil de la Universidad Técnica de Ambato.

2.2.3.1 Población y muestra

Las dimensiones de cada espécimen serán:

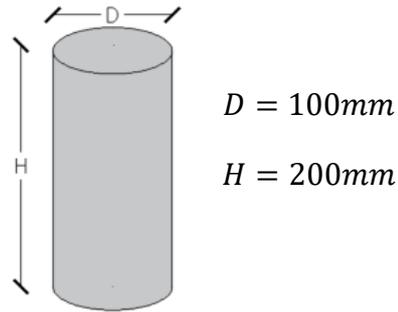


Figura 5. Representación gráfica del espécimen.

Fuente: Byron Javier Quishpe Toapanta

Según la normativa ASTM C39, nos menciona que el número mínimo de especímenes de ensayo estándar para cilindros con dimensiones de 100mm de diámetro es de 3. Por lo que la muestra para este trabajo experimental se consideró un promedio de 3 muestras de cilindros por cada afectación de resultado.

La población total fue de 45 cilindros, los cuales se dividirán: 15 especímenes con porcentaje de AR del 15%, 15 especímenes con porcentaje de AR del 30% y 15 especímenes con porcentaje de AR del 0%, este último con la finalidad de obtener cilindros base y comparar sus resistencias. Cada una de los 15 cilindros será sometido a 5 intervalos distintos de temperatura.

La tabla 11 resume la población y muestra del siguiente trabajo experimental.

Resistencia:		240 kg/cm ²		Edad:	28 días		
Muestra:	% de AR	Temp. 1	Temp. 2	Temp. 3	Temp. 4	Temp. 5	Total
HS-0AR	0%	3	3	3	3	3	15
HS-15AR	15%	3	3	3	3	3	15
HS-30AR	30%	3	3	3	3	3	15
TOTAL							45

Tabla 11. Número de especímenes a realizar

Fuente: Byron Javier Quishpe Toapanta

La nomenclatura utilizada en el respectivo trabajo experimental será la siguiente:

- HS-0AR% = Hormigón simple con 0 por ciento de agregado reciclado
- HS-15AR% = Hormigón simple con 15 por ciento de agregado reciclado
- HS-30AR% = Hormigón simple con 30 por ciento de agregado reciclado

2.2.3.2 Método de la densidad Óptima

Método elaborado por la Universidad Central del Ecuador, se utilizó para calcular la dosificación y fabricar las probetas.

Este método se basa en determinar las características de los agregados para obtener una resistencia deseada; permite utilizar la menor cantidad de pasta-cemento consiguiendo así un equilibrio entre los agregados y evitar conseguir vacíos en la mezcla [41].

Para utilizar este método, antes es importante conocer su nomenclatura:

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

Tabla 12. Nomenclatura para utilizar el método de la densidad óptima

Fuente: [38]

Procedimiento para calcular la dosificación:

1. Seleccionar la relación agua/cemento según la resistencia deseada, después del transcurso de los 28 días de tiempo de curado.

F'c Mpa	Relación W/C
45	0.37
42	0.40
40	0.42
35	0.46
32	0.50
30	0.51
28	0.52
25	0.55
24	0.56
21	0.58
18	0.60

Tabla 13. Resistencia a compresión según la relación agua/cemento

Fuente: [38]

2. Calcular la densidad real de la mezcla (DRM) entre el agregado grueso y el agregado fino con la ayuda de los volúmenes reales y aparentes de cada uno.

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

3. Calcular el porcentaje óptimo de vacíos (POV)

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

4. Calcular la cantidad de pasta (CP), con la finalidad de llenar los vacíos que deja los agregados. Esto en base al asentamiento requerido el cual se desea llegar.

Asentamiento %	Cantidad de pasta %
0 - 3	POV + 2% + 3%(POV)
3 - 6	POV + 2% + 6%(POV)
6 - 9	POV + 2% + 8%(POV)
9 - 12	POV + 2% + 11%(POV)
12 - 15	POV + 2% + 13%(POV)

Tabla 14. Cantidad de pasta en función del asentamiento
Fuente: [38]

5. Calcular la cantidad de cemento (C)

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

6. Calcular la cantidad de agua (W)

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

7. Calcular la cantidad de agregado fino (A)

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

8. Calcular la cantidad de agregado grueso (R)

$$R = (1000 - CP) * \frac{DRR * POR}{100}$$

9. Calcular la dosificación al peso

$$OSIFICACIÓN (W.C.A.R) = \frac{Cantidad\ de\ material\ (W.C.A.R)\ por\ m^3}{Cantidad\ de\ cemento\ (C)}$$

2.2.3.3. Corrección de humedad

Las dosificaciones anteriormente mencionadas, se calculó con la hipótesis de que los agregados se encuentran en la condición SSS (saturada superficialmente seca), no obstante, es muy poco probable que al momento de realizar la mezcla dichos materiales se encuentran en esta condición, es por ello que se debe realizar una corrección de humedad [41]

Para poder realizar esta corrección se debe obtener el contenido de humedad tal como menciona la NTE INEN 862, esto se lo debe realizar un día antes de fabricar el hormigón, posterior a ello, se debe aplicar las siguientes ecuaciones:

$$Corrección\ Arena = Masa\ (arena) = \frac{100 + \% humedad\ (arena)}{100 + \% absorción\ (arena)}$$

$$Corrección\ Ripio = Masa\ (ripio) = \frac{100 + \% humedad\ (ripio)}{100 + \% absorción\ (ripio)}$$

2.2.3.4. Elaboración de probetas de prueba

Durante esta actividad se elaboró muestras de base para comprobar la resistencia dosificada, es decir, se fabricó 3 cilindros con material normal con la finalidad de verificar a los 7 días de curado si la resistencia de 240 kg/cm² fue la correcta. Además, se determinó algunas propiedades en estado fresco como la consistencia del hormigón, la trabajabilidad y su densidad.

En caso de no cumplir se deberá realizar los ajustes necesarios hasta comprobar que la resistencia se encuentre dentro de los rangos del diseño, una vez cumplida esta actividad se procederá a la elaboración de las probetas definitivas con reemplazo parcial del AR.

2.2.3.5. Elaboración de probetas definitivas

Para la fabricación de las probetas de hormigón reciclado, tal como menciona [25] se lo realizará de la misma manera que un hormigón convencional, es decir, con la dosificación obtenida se reemplazará de forma parcial el agregado grueso natural por el agregado grueso reciclado, obteniendo así el hormigón con reemplazos parcial del

15% y 30% de material reciclado, los cuales posterior a ello serán colocados en la cámara de curado por un tiempo de 28 días.

Las normas que mencionan el procedimiento para la fabricación de cilindros es la NTE INEN 3124 y ASTM C 192.

2.2.4 Etapa 4. Exposición al fuego de las probetas cilíndricas

Durante esta etapa se utilizó una investigación de tipo exploratorio debido a que se basa en el conocimiento de un fenómeno novedoso, además de recolectar información que permita comprender más del tema.

Para la quema de las probetas se realizaron en un horno de fundición semejante a como hizo en [42], para lo cual, en nuestro caso se controló la temperatura con la ayuda de un pirómetro tipo k con capacidad de lectura de hasta 1650°C. El horno utilizado tiene forma redonda, armado con ladrillos refractarios donde se propaga el fuego con la ayuda de un venterol controlado con una llave, además debido a que es un horno cerrado esto ayudó a mantener la temperatura controlada y obtener una llama homogénea por todo el espacio donde estará situadas las probetas cilíndricas, de forma análoga a como se describe en [24].



Figura 6. Horno de fundición para la quema de probetas

Fuente: Byron Javier Quishpe Toapanta

Se colocó un soplete en la parte superior del horno para que, de esta manera, exista un quemado homogéneo de las probetas cilíndrica, tal como se observa en la figura 7.



Figura 7. Soplete en el interior del horno para la quema de probetas
Fuente: Byron Javier Quishpe Toapanta



Figura 8. Pirómetro utilizado para el control de temperatura
Fuente: Byron Javier Quishpe Toapanta

2.2.4.1 Intervalos y tiempo de la temperatura

Con la finalidad de poder simular un incendio y sabiendo que en [30], menciona que la temperatura de estos podría llegar hasta los 1000°C, se estableció 5 intervalos de temperatura en orden creciente, las cuales será:

- Temperatura 1 = 0°C (temperatura ambiente)
- Temperatura 2 = 250°C
- Temperatura 3 = 400°C
- Temperatura 4 = 600°C
- Temperatura 5 = 800°C

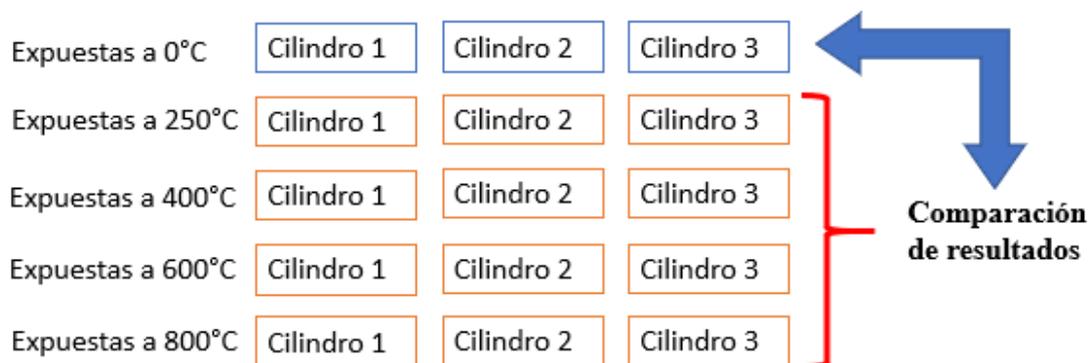


Figura 9. Metodología utilizada para la quema de cilindros por cada % de AR
Fuente: Byron Javier Quishpe Toapanta

Cada una de estas temperaturas será mantenida durante el tiempo más crítico que sea posible, el cual será de 1 hora (60 min), tiempo que es normalizado según S. García, director técnico de los laboratorios de reacción y resistencia al fuego del LICOFO [43]

Las probetas fueron insertadas dentro del horno en orden de 3, esto para obtener una buena distribución de calor, después de ello, se colocó el soplete, la tapa y se fue midiendo y controlando la temperatura con ayuda de un pirómetro.

Una vez terminado el tiempo de exposición al fuego, pasaron un periodo de enfriamiento de 24 horas, para posterior ser ensayadas a compresión y obtener sus resultados.



Figura 10. Quema de muestras dentro del horno de fundición
Fuente: Byron Javier Quishpe Toapanta

2.2.5 Etapa 5. Ensayo de resistencia a compresión

Durante esta etapa se utilizó una investigación descriptiva ya que se especificará de forma puntual los resultados y características de la población que estamos estudiando, en este caso de las probetas cilíndricas elaboradas a partir de hormigón normal y hormigón reciclado.

Dicho esto, una vez terminado la etapa anterior, se procede a determinar la resistencia a compresión de cada uno de los especímenes, para ello se utiliza la normativa siguiente:

ENSAYO	NORMA
Resistencia a compresión	NTE INEN 1573, ASTM C 39

Tabla 15. Normativa para el ensayo a compresión
Fuente: Byron Javier Quishpe Toapanta

El ensayo a compresión consiste en la aplicación de una carga sobre la cara superior de los cilindros de hormigón, con una velocidad estandarizada, cuya finalidad es comprimir el espécimen hasta llegar a la ruptura del mismo.

Para realizar esto se debe colocar los datos como la altura, diámetro y peso de la probeta, luego se ajusta los moldes superiores e inferiores según el tamaño de la probeta, posterior se coloca dentro de la maquina y se enciende partiendo de una precarga hasta finalmente la carga donde se graficará la curva esfuerzo-deformación hasta que denote el punto de ruptura donde cae la curva.

La velocidad de la carga según la norma debe ir entre $0.25 \pm 0,05$ Mpa/s, además se debe asegurar que la cara superior de los cilindros debe ser en general plana, ya que podría provocar una concentración de esfuerzo que afectaría el resultado de la resistencia [44].

Una prueba de resistencia se necesita de al menos dos muestras para obtener un promedio, sin embargo, para este caso, el trabajo experimental se utilizó un promedio de tres muestras.

El ensayo se realizará una vez terminado el proceso de enfriamiento de las probetas cilíndrica, y se tabulará los resultados para posterior ser presentados en el siguiente capítulo.

CAPITULO III.- RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Análisis y discusión de los resultados

En este capítulo se muestran los resultados que fueron obtenidos durante el transcurso de cada fase detallado en la metodología, con la finalidad de cumplir los objetivos planteado en el presente trabajo experimental. Entre los cuales se detalló los siguientes:

- ✓ **Etapa 2.** Propiedades mecánicas de los agregados pétreos, donde se detalló cada uno de los ensayos de los materiales empleados en la dosificación.
- ✓ **Etapa 3.** Elaboración de las probetas cilíndricas, donde se describió los resultados de la dosificación y las propiedades del hormigón en estado fresco y endurecido.
- ✓ **Etapa 4.** Exposición al fuego de las probetas cilíndricas, donde se expuso los resultados de los especímenes después de someterse al fuego.
- ✓ **Etapa 5.** Ensayo de resistencia a compresión, donde se realizó una comparación de la resistencia entre los cilindros de hormigón reciclado y hormigón normal.

3.1.1 Propiedades mecánicas de los agregados

Los ensayos realizados previamente para la fabricación de las probetas cilíndricas de concreto reciclado son los siguientes:

Agregado fino:

Análisis granulométrico
Densidad aparente suelto
Densidad aparente compactado
Densidad real y capacidad de absorción
Contenido de humedad

Agregado grueso:

Análisis granulométrico
Densidad aparente suelto
Densidad aparente compactado
Densidad real y capacidad de absorción
Contenido de humedad

Material reciclado:

Análisis granulométrico
Densidad aparente suelto
Densidad aparente compactado
Densidad real y capacidad de absorción

Cemento:

Densidad real del cemento

➤ **Análisis granulométrico del agregado fino**

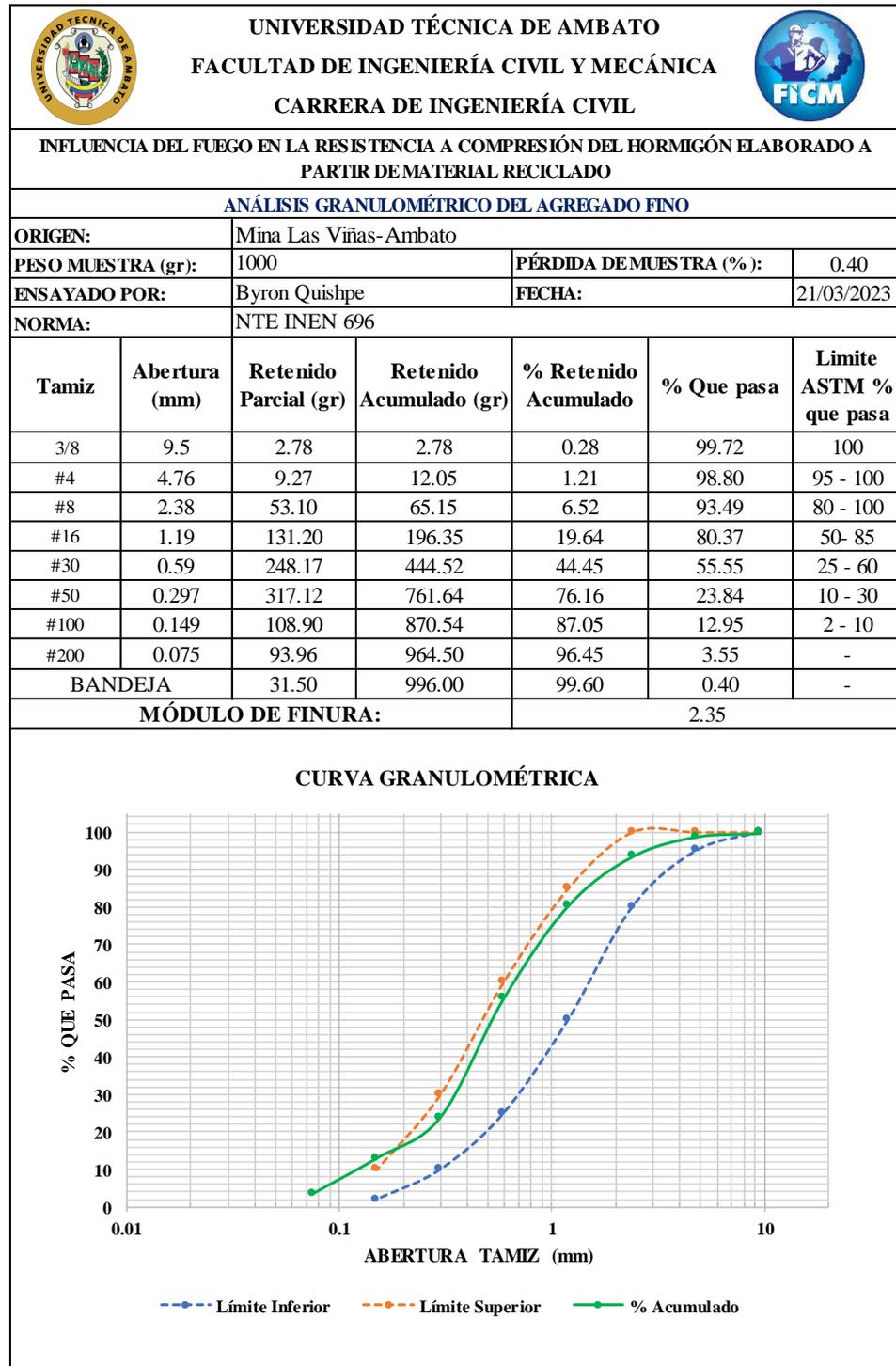


Tabla 16. Análisis granulométrico del agregado fino (arena)

Fuente: Byron Javier Quishpe Toapanta

Análisis: A través la curva se puede observar que la arena obtenida de la mina “Las Viñas” en Ambato, es apto para la elaboración del concreto según la normativa, puesto

que se encuentra dentro de los límites de la curva. El módulo de finura es de 2.35 por lo que está en el rango recomendado de 2.30 a 3.10.

➤ **Análisis granulométrico del agregado grueso**

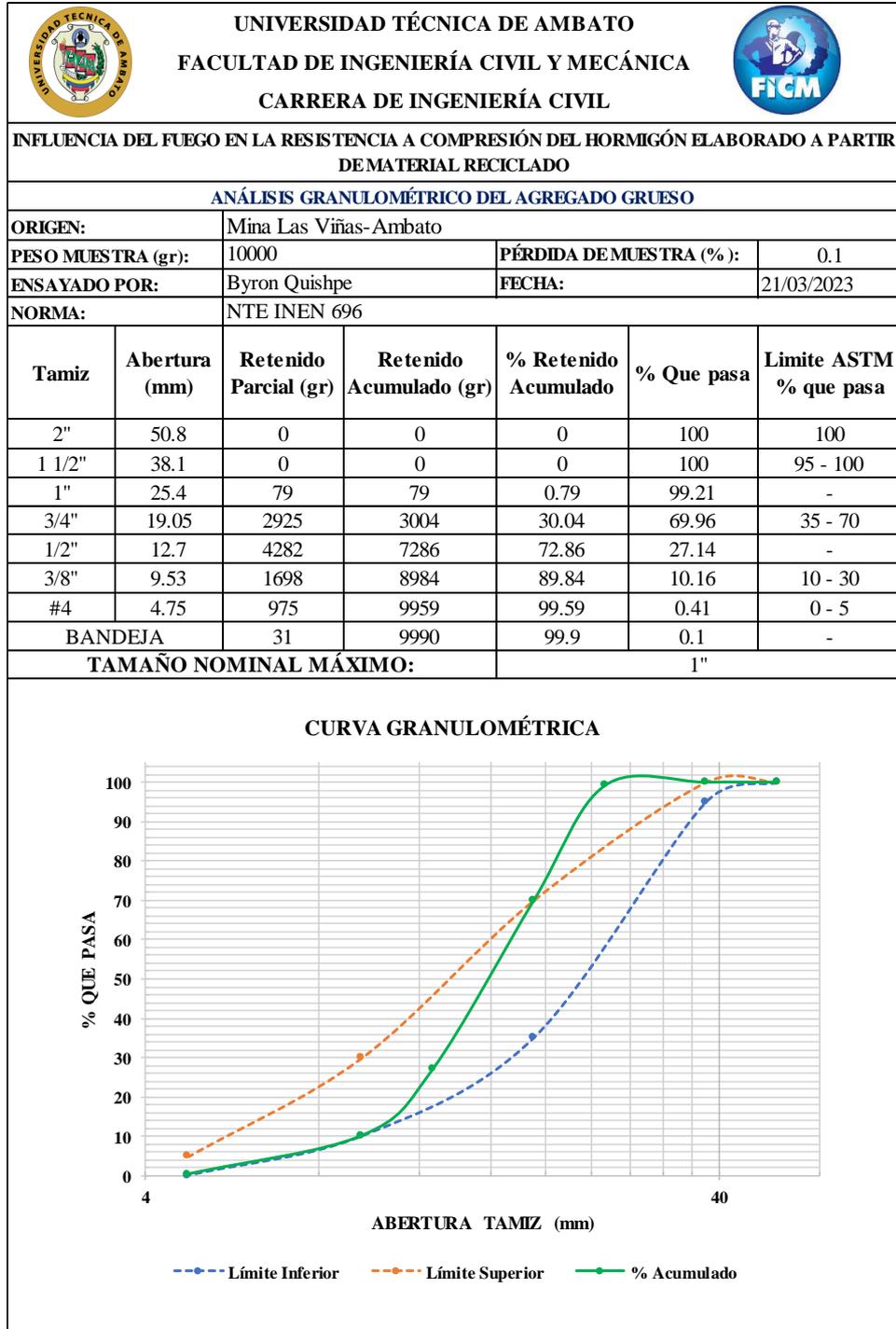


Tabla 17. Análisis granulométrico del agregado grueso (ripio)

Fuente: Byron Javier Quishpe Toapanta

Análisis: Mediante la curva se puede observar que el ripio obtenido de la mina “Las Viñas” en Ambato, es apto para la elaboración del concreto según la normativa, puesto que se encuentra dentro de los límites de la curva. El tamaño nominal máximo es de 1” lo que está en el rango recomendado de 3/4” a 1 ½”.

➤ **Análisis granulométrico del hormigón reciclado**

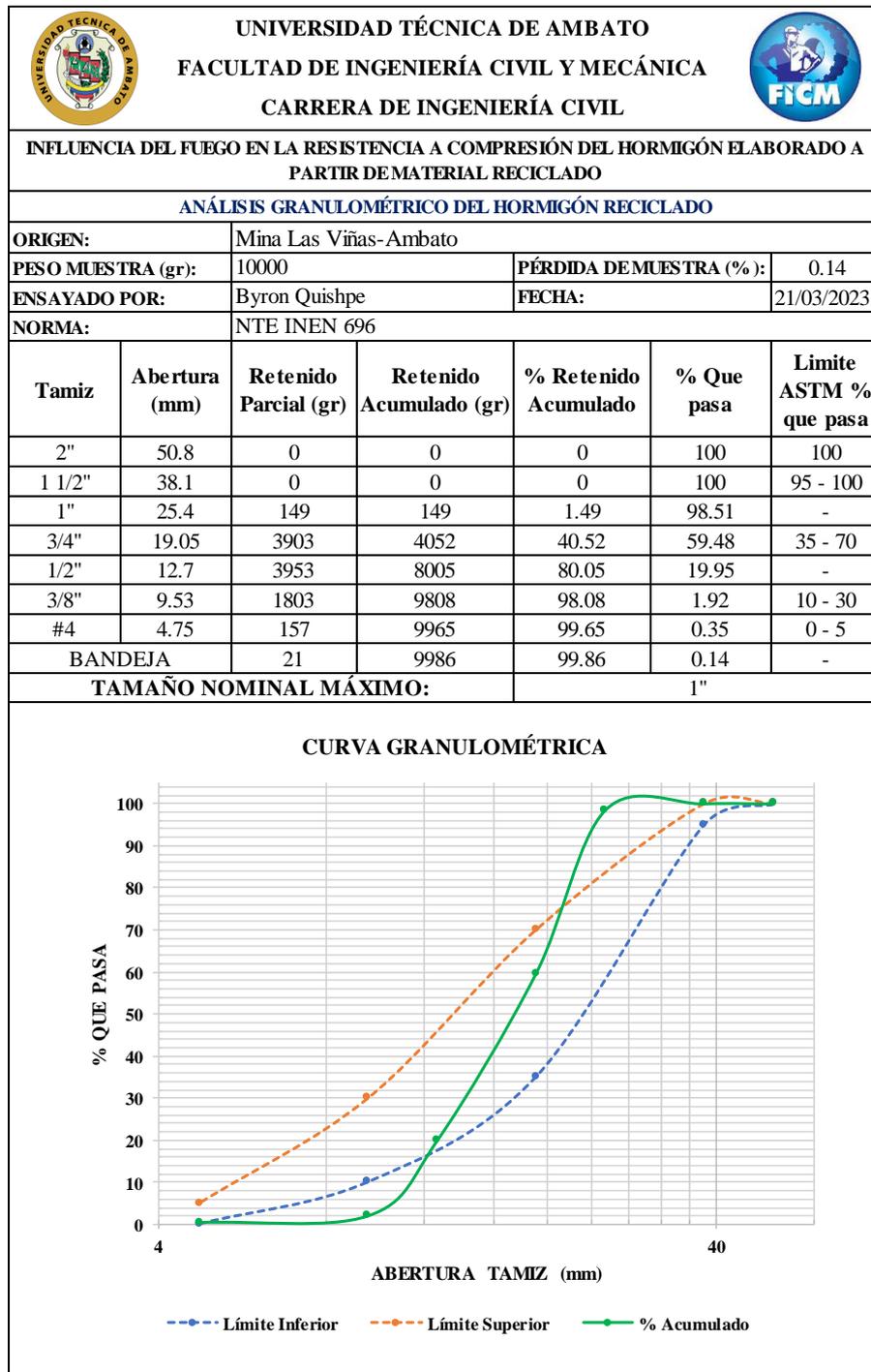


Tabla 18. Análisis granulométrico del hormigón reciclado
Fuente: Byron Javier Quishpe Toapanta

Análisis: El hormigón reciclado que fue triturado a 3/4" cumple con los límites especificados de la curva, por lo que es apto para ser añadido parcialmente en la elaboración del concreto. El tamaño nominal máximo es de 1" lo que se encuentra dentro del rango recomendado de 3/4" a 1 1/2".

➤ **Densidad aparente suelta del agregado grueso y fino**

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO		FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA		CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL	
INFLUENCIA DEL FUEGO EN LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN ELABORADO A PARTIR DE MATERIAL RECICLADO					
DENSIDAD APARENTE SUELTA DEL AGREGADO GRUESO Y AGREGADO FINO					
ORIGEN:		Mina Las Viñas-Ambato			
ENSAYADO POR:		Byron Quishpe	FECHA:		22/03/2023
NORMA:		NTE INEN 858			
MASA RECIPIENTE (kg):		9.83	VOLUMEN RECIPIENTE (dm3):		20.85
Agregado	Agregado + Recipiente (kg)	Agregado (kg)	Peso Unitario (kg/dm3)	Peso Unitario Promedio (kg/dm3)	
Grueso	37.61	27.78	1.332	1.332	
	37.62	27.79	1.333		
Fino	40.86	31.03	1.488	1.478	
	40.44	30.61	1.468		

Tabla 19. Densidad aparente suelta del agregado grueso y fino

Fuente: Byron Javier Quishpe Toapanta

Análisis: Los resultados correspondientes al ensayo de la densidad aparente suelta de la grava y la arena fue de 1.332 kg/dm³ y 1.478kg/dm³ respectivamente.

➤ **Densidad aparente compactada del agregado grueso y fino**

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO		FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA		CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL	
INFLUENCIA DEL FUEGO EN LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN ELABORADO A PARTIR DE MATERIAL RECICLADO					
DENSIDAD APARENTE COMPACTADA DEL AGREGADO GRUESO Y AGREGADO FINO					
ORIGEN:		Mina Las Viñas-Ambato			
ENSAYADO POR:		Byron Quishpe	FECHA:		22/03/2023
NORMA:		NTE INEN 858			
MASA RECIPIENTE (kg):		9.83	VOLUMEN RECIPIENTE (dm3):		20.85
Agregado	Agregado + Recipiente (kg)	Agregado (kg)	Peso Unitario (kg/dm3)	Peso Unitario Promedio (kg/dm3)	
Grueso	40.37	30.54	1.465	1.465	
	40.38	30.55	1.465		
Fino	42.54	32.71	1.569	1.579	
	42.98	33.15	1.590		

Tabla 20. Densidad aparente compactada del agregado grueso y fino

Fuente: Byron Javier Quishpe Toapanta

Análisis: Los resultados correspondientes al ensayo de la densidad aparente compactada de la grava y la arena fue de 1.465 kg/dm³ y 1.579 kg/dm³ respectivamente.

➤ **Densidad apártense suelta y compactada del material reciclado**

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL				
INFLUENCIA DEL FUEGO EN LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN ELABORADO A PARTIR DE MATERIAL RECICLADO				
DENSIDAD APARENTE SUELTO Y COMPACTADO DEL MATERIAL RECICLADO				
ORIGEN:		Mina Las Viñas-Ambato		
ENSAYADO POR:		Byron Quishpe	FECHA: 22/3/2023	
NORMA:		NTE INEN 858		
MASA RECIPIENTE (kg):		9.83	VOLUMEN RECIPIENTE (dm³): 20.85	
Hormigón Reciclado	Agregado + Recipiente (kg)	Agregado (kg)	Peso Unitario (kg/dm³)	Peso Unitario Promedio (kg/dm³)
Suelto	34.71	24.88	1.193	1.191
	34.62	24.79	1.189	
Compactado	37.59	27.76	1.331	1.336
	37.78	27.95	1.340	

Tabla 21. Densidad aparente suelta y compactada del material reciclado
Fuente: Byron Javier Quishpe Toapanta

Análisis: Los resultados obtenidos nos permite observar que la densidad aparente ya sea suelta o compactada del hormigón reciclado en este caso como un árido reciclado (AR) tiene una densidad mucho más baja comparado con árido natural (AN), esto es debido al poco peso que tiene puesto que en él se presenta una mayor cantidad de vacíos a causa del mortero adherido en las paredes. Los valores corresponden a 1.191 kg/dm³ y 1.336 kg/dm³ de densidad aparente suelta y compactada, comparado con los valores del agregado natural se puede observar una diferencia del 11% y 9% respectivamente. La tabla 22 resumen dichos resultados.

	Densidad aparente		
	AN	AR	Diferencia
Suelta	1.332	1.191	11%
Compactada	1.465	1.336	9%

Tabla 22. Comparación de densidades entre el árido natural y árido reciclado
Fuente: Byron Javier Quishpe Toapanta

➤ Densidad aparente compactado de la mezcla

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO		FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA		CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL			
INFLUENCIA DEL FUEGO EN LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN ELABORADO A PARTIR DE MATERIAL RECICLADO							
PESO UNITARIO COMPACTADO DE LA MEZCLA							
ORIGEN:		Mina Las Viñas-Ambato					
ENSAYADO POR:		Byron Quishpe	FECHA:		22/03/2023		
NORMA:		NTE INEN 858					
MASA RECIPIENTE (kg):		9.83	VOLUMEN RECIPIENTE (dm3):		20.85		
% Mezcla	Cantidad (kg)		Fino Añadido (kg)	Agregado + Recipiente (kg)	Agregado (kg)	Peso Unitario Mezcla (kg/dm3)	Peso Unitario Promedio (kg/dm3)
A	B	Ripio	Arena	A	Agregado fino + agregado grueso		
100.00	0.00	40.00	0.00	0.00	39.950	30.120	1.445
					40.205	30.375	1.457
90.00	10.00	40.00	4.44	4.44	43.015	33.185	1.592
					43.330	33.500	1.607
80.00	20.00	40.00	10.00	5.56	45.950	36.120	1.732
					46.050	36.220	1.737
70.00	30.00	40.00	17.14	7.14	49.320	39.490	1.894
					49.330	39.500	1.894
60.00	40.00	40.00	26.67	9.53	50.440	40.610	1.948
					50.740	40.910	1.962
50.00	50.00	40.00	40.00	13.33	50.400	40.570	1.946
					50.420	40.590	1.947
40.00	60.00	40.00	60.00	20.00	49.525	39.695	1.904
					49.355	39.525	1.896

Gráfico porcentaje óptimo vs Densidad aparente

Porcentaje máximo de agregado fino (%)	45 %
Porcentaje máximo de agregado grueso (%)	55 %
Porcentaje óptimo de agregado fino (%)	41 %
Porcentaje óptimo de agregado grueso (%)	59 %
Peso unitario máximo (gr/cm3)	1.961 kg/dm3
Peso unitario óptimo (gr/cm3)	1.952 kg/dm3

Tabla 23. Densidad aparente compactada de la mezcla

Fuente: Byron Javier Quishpe Toapanta

Análisis: El ensayo de la densidad aparente de la mezcla necesario para obtener la dosificación nos presenta un porcentaje óptimo del agregado grueso del 59%, mientras que para el agregado fino el 41%. Además, la densidad aparente máximo y óptimo de la mezcla se obtiene según la curva entre % mezcla vs densidad promedio, los cuales nos da valores de 1.961 kg/dm³ y 1.952kg/dm³ respectivamente.

➤ **Densidad real y capacidad de absorción del agregado fino**

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO		FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA		CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL	
					
INFLUENCIA DEL FUEGO EN LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN ELABORADO A PARTIR DE MATERIAL RECICLADO					
DENSIDAD REAL Y CAPACIDAD DE ABSORCIÓN DEL AGREGADO FINO					
ORIGEN:	Mina Las Viñas-Ambato				
ENSAYADO POR:	Byron Quishpe	FECHA:	27/03/2023		
NORMA:	NTE INEN 856				
CALCULO DE LA DENSIDAD REAL DE LA ARENA					
DATOS	DESIGNACIÓN	UNIDAD	VALOR		
M1	Masa del picnómetro	gr	148.90		
M2	Masa del picnómetro + muestra SSS	gr	248.90		
M3	Masa del picnómetro + muestra SSS+ agua	gr	708.10		
M4=M3-M2	Masa agua añadida	gr	459.20		
M5	Masa del picnómetro + 500cc de agua	gr	647.00		
M6=M5-M1	Masa de 500cc de agua	gr	498.10		
DA=M6/500cm ³	Densidad del agua	gr/cm ³	1.000		
M7=M6-M4	Masa del agua desalojada por la muestra	gr	38.90		
M _{sss} =M2-M1	Masa del agregado	gr	100.00		
V _{sss} =M7/DA	Volumen del agua desalojada	cm ³	38.90		
DRA=M _{sss} /V _{sss}	Densidad real de la arena	gr/cm ³	2.571		
CALCULO DE LA CAPACIDAD DE ABSORCIÓN DE LA ARENA					
DATOS	DESIGNACIÓN	UNIDAD	VALOR		
M7	Masa del recipiente	gr	24.20	24.50	
M8	Masa del recipiente + muestra SSS	gr	133.50	142.71	
M9=M8-M7	Masa de la muestra SSS	gr	109.30	118.21	
M10	Masa del recipiente+ muestra seca	gr	133.20	142.30	
M11=M10-M7	Masa de la muestra seca	gr	109.00	117.80	
CA=(M9-M11)/M11*	Capacidad de absorción	%	0.28	0.35	
P2=(CA1+CA2)/2	Capacidad de absorción promedio	%	0.31		

Tabla 24. Densidad real y capacidad de absorción de la arena

Fuente: Byron Javier Quishpe Toapanta

Análisis: La densidad real de agregado fino o arena es de 2.571 gr/cm³ y su capacidad de absorción del 0.312%, ubicándose este último dentro del rango recomendado entre 0.2% a 2%.

➤ Densidad real y capacidad de absorción del agregado grueso

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL			
INFLUENCIA DEL FUEGO EN LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN ELABORADO A PARTIR DE MATERIAL RECICLADO					
DENSIDAD REAL Y CAPACIDAD DE ABSORCIÓN DEL AGREGADO GRUESO					
ORIGEN:		Mina Las Viñas-Ambato			
ENSAYADO POR:		Byron Quishpe	FECHA:	28/03/2023	
NORMA:		NTE INEN 857			
CALCULO DE LA DENSIDAD REAL DEL RIPIO					
DATOS	DESIGNACIÓN	UNIDAD	VALOR		
M1	Masa de la canastilla en el aire	gr	1172.00		
M2	Masa de la canastilla en el agua	gr	1005.00		
M3	Masa de la canastilla+muestra SSS en el aire	gr	2673.00		
M4	Masa de la canastilla+muestra SSS en el agua	gr	1931.00		
DA	Densidad real del agua	gr/cm ³	1.00		
M5=M3-M1	Masa de la muestra SSS en el aire	gr	1501.00		
M6=M4-M2	Masa de la muestra SSS en el agua	gr	926.00		
VR=(M5-M6)/DA	Volumen real de la muestra	cm ³	575.00		
DR=M5/VR	Densidad del ripio	gr/cm ³	2.610		
CALCULO DE LA CAPACIDAD DE ABSORCIÓN DEL RIPIO					
DATOS	DESIGNACIÓN	UNIDAD	VALOR		
M7	Masa del recipiente	gr	30.85	30.93	
M8	Masa del recipiente + muestra SSS	gr	162.28	152.10	
M9=M8-M7	Masa de la muestra SSS	gr	131.43	121.17	
M10	Masa del recipiente+ muestra seca	gr	158.60	148.60	
M11=M10-M7	Masa de la muestra seca	gr	127.75	117.67	
A=((M9-M11)/M11)*1	Capacidad de absorción	%	2.88	2.97	
P2=(CA1+CA2)/2	Capacidad de absorción promedio	%	2.93		

Tabla 25. Densidad real y capacidad de absorción del agregado grueso

Fuente: Byron Javier Quishpe Toapanta

Análisis: La densidad real de agregado grueso o ripio es de 2.610 gr/cm³ y su capacidad de absorción del 2.93%, ubicándose este último dentro del rango recomendado entre 0.2% a 4%.

➤ Densidad real y capacidad de absorción del material reciclado

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO		FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA		CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL	
					
INFLUENCIA DEL FUEGO EN LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN ELABORADO A PARTIR DE MATERIAL RECICLADO					
DENSIDAD REAL Y CAPACIDAD DE ABSORCIÓN DEL MATERIAL RECICLADO					
ORIGEN:		Mina Las Viñas-Ambato			
ENSAYADO POR:		Byron Quishpe	FECHA:		28/3/2023
NORMA:		NTE INEN 857			
CALCULO DE LA DENSIDAD REAL DEL MATERIAL RECICLADO					
DATOS	DESIGNACIÓN	UNIDAD	VALOR		
M1	Masa de la canastilla en el aire	gr	1172.00		
M2	Masa de la canastilla en el agua	gr	1005.00		
M3	Masa de la canastilla+muestra SSS en el aire	gr	2775.00		
M4	Masa de la canastilla+muestra SSS en el agua	gr	1955.00		
DA	Densidad real del agua	gr/cm ³	1.00		
M5=M3-M1	Masa de la muestra SSS en el aire	gr	1603.00		
M6=M4-M2	Masa de la muestra SSS en el agua	gr	950.00		
VR=(M5-M6)/DA	Volumen real de la muestra	cm ³	653.00		
DR=M5/VR	Densidad del ripio	gr/cm ³	2.455		
CALCULO DE LA CAPACIDAD DE ABSORCIÓN DEL MATERIAL RECICLADO					
DATOS	DESIGNACIÓN	UNIDAD	VALOR		
M7	Masa del recipiente	gr	30.85	30.93	
M8	Masa del recipiente + muestra SSS	gr	175.45	165.78	
M9=M8-M7	Masa de la muestra SSS	gr	144.60	134.85	
M10	Masa del recipiente+ muestra seca	gr	169.30	160.50	
M11=M10-M7	Masa de la muestra seca	gr	138.45	129.57	
A=((M9-M11)/M11)*100	Capacidad de absorción	%	4.44	4.08	
P2=(CA1+CA2)/2	Capacidad de absorción promedio	%	4.26		

Tabla 26. Densidad real y capacidad de absorción del material reciclado

Fuente: Byron Javier Quishpe Toapanta

Análisis: La densidad real del material reciclado (árido reciclado grueso) es de 2.455 gr/cm³ y su capacidad de absorción del 4.26%. Comparando este último con el agregado natural grueso que es de 2.93% se tiene una diferencia de 1.33% de absorción que tiene el material reciclado.

➤ **Contenido de humedad del agregado grueso y fino**

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO		FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA		CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL		
INFLUENCIA DEL FUEGO EN LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN ELABORADO A PARTIR DE MATERIAL RECICLADO						
CONTENIDO DE HUMEDAD						
ORIGEN:	Mina Las Viñas-Ambato					
ENSAYADO POR:	Byron Quishpe	FECHA:	04/04/2023			
NORMA:	NTE INEN 862					
CALCULO DEL CONTENIDO DE HUMEDAD DE LA GRAVA Y ARENA						
DATOS	DESIGNACIÓN	UNIDAD	GRAVA		ARENA	
M1	Masa del recipiente	gr	24.60	26.90	23.10	23.80
M2	Masa del recipiente + muestra humeda	gr	134.13	148.30	135.42	129.61
M3	Masa del recipiente+ muestra seca	gr	131.05	145.70	135.08	129.34
M4=M2-M3	Masa del agua	gr	3.08	2.60	0.34	0.27
M5=M3-M1	Masa de la muestra seca o del solido	gr	106.45	118.80	111.98	105.54
C.H.=(M4/M5)*100	Contenido de Humedad	%	2.89	2.19	0.30	0.26
C.H.	Contenido de Humedad Promedio	%	2.54		0.28	

Tabla 27. Contenido de humedad de la grava y la arena

Fuente: Byron Javier Quishpe Toapanta

Análisis: El resultado del ensayo de contenido de humedad correspondiente al ripio y la arena es de 2.54% y 0.28% respectivamente.

➤ **Densidad real de cemento**

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO		FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA		CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL	
INFLUENCIA DEL FUEGO EN LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN ELABORADO A PARTIR DE MATERIAL RECICLADO					
DENSIDAD REAL DEL CEMENTO					
ORIGEN:	Cemento HOLCIM Tipo GU				
ENSAYADO POR:	Byron Quishpe	FECHA:	04/04/2023		
NORMA:	NTE INEN 156				
CALCULO DE LA DENSIDAD REAL DEL CEMENTO					
DATOS	DESIGNACIÓN	UNIDAD	VALOR		
M1	Masa del picnómetro	gr	152.680	152.690	
M2	Masa del picnómetro + muestra	gr	252.680	252.690	
M3	Masa del picnómetro + muestra + gasolina	gr	592.270	592.350	
M4=M3-M2	Masa gasolina añadida	gr	339.590	339.660	
M5	Masa del picnómetro + 500cc de gasolina	gr	519.450	519.660	
M6=M5-M1	Masa de 500cc de gasolina	gr	366.770	366.970	
DG=M6/500cm3	Densidad de la gasolina	gr/cm3	0.734	0.734	
M7=M6-M4	Masa del gasolina desalojada por la muestra	gr	27.180	27.310	
Mc=M2-M1	Masa del cemento	gr	100.000	100.000	
VG=M7/DG	Volumen de la gasolina desalojada	cm3	37.053	37.210	
DRC=Mc/VG	Densidad real del cemento	gr/cm3	2.699	2.687	
P=(DRC1+DRC2)/2	Densidad real promedio	gr/cm3	2.693		

Tabla 28. Densidad real del cemento

Fuente: Byron Javier Quishpe Toapanta

Análisis: La densidad real del cemento para un cemento tipo GU marca Holcim fue de 2.693 kg/cm³.

3.1.2 Elaboración de las probetas cilíndricas

3.1.2.1 Método de la Densidad Óptima para la dosificación

Se obtuvo los resultados de la dosificación del hormigón para una resistencia de 240 kg/cm² y un asentamiento de 6 a 9 cm.

DATOS DE ENSAYO		DATOS DE TABLAS			
f'c	240.00	kg/cm ²	W/C	0.560	
Asentamiento	6 - 9	cm	CP (%)	POV + 2% + 8% (POV)	
DRC	2.693	gr/cm ³	CÁLCULOS		
DRA	2.571	gr/cm ³	DRM	2.594	kg/dm ³
DRR	2.610	gr/cm ³	POV	24.75	%
DSA	1.478	gr/cm ³	CP	287.34	dm ³
DSR	1.332	gr/cm ³	C	308.53	kg
POA	41	%	W	172.78	lts
POR	59	%	A	751.13	kg
DOM	1.952	gr/cm ³	R	1097.61	kg

Tabla 29. Datos de los ensayos para calcular la dosificación $f'c=240\text{kg/cm}^2$

Fuente: Byron Javier Quishpe Toapanta

MATERIAL	CANTIDAD EN kg POR CADA m ³ DE HORMIGÓN	DOSIFICACIÓN AL PESO	CANTIDAD EN (kg) POR SACO DE CEMENTO DE 50kg.
W	172.78	0.56	28.00
C	308.53	1.00	50.00
A	751.13	2.43	121.73
R	1097.61	3.56	177.88
TOTAL	2330.052	kg/m³ = Densidad del hormigón	

Tabla 30. Cálculo de la dosificación por peso $f'c=240\text{kg/cm}^2$

Fuente: Byron Javier Quishpe Toapanta

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO		FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA		CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL	
INFLUENCIA DEL FUEGO EN LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN ELABORADO A PARTIR DE MATERIAL RECICLADO					
DOSIFICACIÓN DEL HORMIGÓN-METODO DE LA DENSIDAD ÓPTIMA ($f'c = 240\text{kg/cm}^2$)					
ORIGEN:		Mina Las Viñas-Ambato			
ENSAYADO POR:		Byron Quishpe	FECHA:	10/04/2023	
DOSIFICACIÓN AL VOLUMEN					
MATERIAL	DOSIFICACIÓN AL PESO	CANTIDAD EN (kg) POR SACO DE CEMENTO DE 50kg.	VOLUMEN APARENTE SUELTO EN dm^3 POR CADA SACO DE CEMENTO	CANTIDAD EN (kg) POR SACO DE CEMENTO DE 50kg.	
W	0.56	28.00	-	28.00	litros
C	1.00	50.00	-	1.00	sacos
A	2.43	121.73	82.36	3.10	cajones
R	3.56	177.88	133.50	4.90	cajones
VOLUMEN REAL DEL HORMIGÓN		377.61	dm^3 c/saco		
DIMENSIONES DE LA PARIHUELA B=L=H= 3.00dm			VOLUMEN PARIHUELA:	27.00 dm^3	

Tabla 31. Cálculo de la dosificación por volumen $f'c=240\text{kg/cm}^2$

Fuente: Byron Javier Quishpe Toapanta

3.1.2.2 Corrección a la dosificación de hormigón

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO		FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA		CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL			
INFLUENCIA DEL FUEGO EN LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN ELABORADO A PARTIR DE MATERIAL RECICLADO							
CORRECCIÓN A LA DOSIFICACIÓN PARA CILINDROS DE ENSAYO ($f'c = 240\text{ kg/cm}^2$)							
ORIGEN:		Mina Las Viñas-Ambato					
ENSAYADO POR:		Byron Quishpe	FECHA:	10/04/2023			
CANTIDAD DE CEMENTO NECESARIO PARA HORMIGONAR CILINDROS DE MUESTRA (3 CILINDROS)							
DIMENSIONES DE LA PROBETA	D (cm) =	10	H (cm) =	20	N°CILINDROS	3	
VOLUMEN DE HORMIGÓN NECESARIO PARA CILINDROS DE $f'c = 240\text{ kg/cm}^2$				0.005	m^3		
CANTIDAD DE CEMENTO PARA 1 m^3 DE HORMIGÓN DE $f'c = 240\text{ kg/cm}^2$				308.529	kg		
CANTIDAD DE CEMENTO PARA LOS CILINDROS DE HORMIGÓN DE $f'c = 240\text{ kg/cm}^2$				1.454	kg		
CORRECCIÓN DE HUMEDAD PARA HORMIGONAR CILINDROS							
MATERIAL	DOSIFICACIÓN AL PESO	CANTIDAD PARA CILINDROS DE ENSAYO	C.A	C.H	CORRECCIÓN		CANTIDAD PARA CILINDROS CORREGIDA
			%	%	%	kg	
W	0.56	0.81	-	-	-	0.021	0.84 lts
C	1.00	1.45	-	-	-	-	1.45 kg
A	2.43	3.54	0.31	0.28	0.03	0.001	3.54 kg
R	3.56	5.17	2.93	2.54	0.387	0.020	5.15 kg

Tabla 32. Corrección a la dosificación para cilindros de $f'c=240\text{kg/cm}^2$

Fuente: Byron Javier Quishpe Toapanta

Análisis: Corrigiendo la dosificación para un volumen específico de hormigón y con la corrección de humedad el cual se necesita la capacidad de absorción (C.A.) y el contenido de humedad (C.H), este último obtenido un día antes de realizar la mezcla, se calculó la dosificación final que se señala en el cuadro de color gris. Cabe recalcar que esta dosificación varía según la cantidad de volumen que necesitemos para el numero específico de cilindros.

3.1.2.3 Resultados de las probetas de prueba

Se fabricó 3 probetas de hormigón normal, las cuales permanecieron dentro de la cámara de curado durante un lapso de 7 días, obteniendo así los siguientes resultados:

➤ Propiedades del hormigón fresco

PROPIEDADES DEL HORMIGÓN FRESCO	
Propiedades	Cilindros de prueba
Asentamiento (cm)	7.00
Trabajabilidad	Buena
Homogenidad	Muy buena
Consistencia	Blanda

Tabla 33. Propiedades del hormigón fresco de los cilindros de prueba
Fuente: Byron Javier Quishpe Toapanta

PESO ESPECÍFICO													
#	W Molde	Wm + Hor Fresco	W Prob Fresca	Wm+Prob Seca 24h	W Prob Seca	Diámetro	Área	Altura	Volumen	Peso Especifico Fresco	Promedio	Peso Especifico Seco	Promedio
	kg	kg	kg	kg	kg	cm	m ²	cm	cm ³	kg/ m ³	kg/m ³	kg/m ³	kg/m ³
1	7.71	11.24	3.53	11.22	3.51	10.00	0.008	20.00	0.0016	2247.27	2245.15	2231.35	2231.35
2	7.71	11.23	3.52	11.21	3.50	10.00	0.008	20.00	0.0016	2240.90		2228.17	
3	7.72	11.25	3.53	11.23	3.51	10.00	0.008	20.00	0.0016	2247.27		2234.54	

Tabla 34. Peso específico de los cilindros de prueba
Fuente: Byron Javier Quishpe Toapanta

Análisis: Se obtuvo los resultados de las propiedades del hormigón en estado fresco y endurecido, haciendo énfasis en su densidad pues esta es de 2245.15 kg/m³ en estado fresco y 2231.35 en estado endurecido, lo cual está dentro del rango de un hormigón simple de 2200 a 2300 y de 2200 a 2400kg/m³ respectivamente.

➤ Propiedades del hormigón endurecido

PROPIEDADES DEL HORMIGÓN ENDURECIDO								
#	Resistencia a de los cilindros	Diámetro	Área	Carga P	Carga P	Resistencia a compresión	Resistencia media	Rango a los 7 días
	kg/cm ²	cm	cm ²	KN	Kg	kg/cm ²	kg/cm ²	kg/cm ²
1	240	10	78.540	140	14000	178.25	174.43	R1=156.0
2		10	78.540	140	14000	178.25		RP=168.0
3		10	78.540	131	13100	166.79		R2=180.0

Tabla 35. Resistencia a compresión de los cilindros de prueba
Fuente: Byron Javier Quishpe Toapanta

Resistencia 240kg/cm ²						
EDAD	Limite inferior	Promedio	Limite superior	Limite inferior	Promedio	Limite superior
(Días)	%	%	%	kg/cm ²	kg/cm ²	kg/cm ²
0	0	0	0	0	0	0
1	10	10	10	24	24	24
3	45	50	55	108	120	132
7	65	70	75	156	168	180
14	80	85	90	192	204	216
21	90	95	100	216	228	240
28	95	100	105	228	240	252
56	115	120	125	276	288	300

Tabla 36. Rango de resistencias del hormigón según la edad para 240kg/cm²
Fuente: Byron Javier Quishpe Toapanta

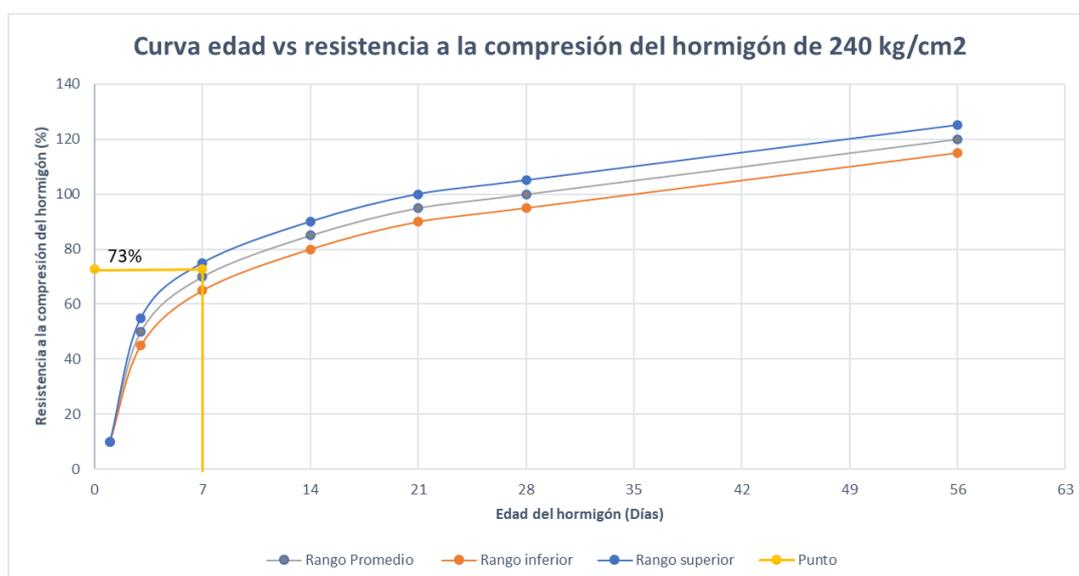


Figura 11. Curva edad vs resistencia a la compresión del hormigón para resistencia 240kg/cm²
Fuente: Byron Javier Quishpe Toapanta

Análisis: La resistencia promedio a la compresión de los cilindros de prueba a los 7 días de edad fue de 174.43kg/cm², lo que corresponde un 73% de la resistencia alcanzada. Por lo que en la tabla 36, dicho valor se encuentra ubicado dentro del rango de resistencias para 240kg/cm² entre el 65% y 75% (156kg/cm² a 180kg/cm²) respectivamente, esto se puede evidenciar también en la figura 11. Gracias a este resultado se procede a fabricar las probetas definitivas con la misma dosificación.

3.1.2.4 Resultados de las probetas definitivas

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO		FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA		CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL				
								
INFLUENCIA DEL FUEGO EN LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN ELABORADO A PARTIR DE MATERIAL RECICLADO								
DOSIFICACIÓN DEL HORMIGÓN-METODO DE LA DENSIDAD ÓPTIMA ($f'c = 240\text{kg/cm}^2$)								
ORIGEN:	Mina Las Viñas-Ambato							
ENSAYADO POR:	Byron Quishpe	FECHA:	12/04/2023					
DOSIFICACIÓN PARA 15 CILINDROS DE HORMIGÓN								
MATERIAL	DOSIFICACIÓN AL PESO	CANTIDAD PARA CILINDROS DE ENSAYO	C.A	C.H	CORRECCIÓN		CANTIDAD PARA CILINDROS CORREGIDA	
			%	%	%	kg		
W	0.56	4.07	-	-	-	0.106	4.18	lts
C	1.00	7.27	-	-	-	-	7.27	kg
A	2.43	17.70	0.31	0.28	0.03	0.006	17.69	kg
R	3.56	25.86	2.93	2.54	0.387	0.100	25.76	kg

Tabla 37. Dosificación para 15 cilindros hormigón de $f'c=240\text{kg/cm}^2$

Fuente: Byron Javier Quishpe Toapanta

Análisis: La dosificación obtenida para un total de 15 cilindros fue la que se indica en la tabla 37, donde el valor del ripio necesario es de 25.76kg.

Para obtener el hormigón reciclado, se debe reemplazar parcialmente el agregado grueso por el AR.

$$\text{Total de agregado grueso} = 25.76 \text{ kg}$$

$$15\% \text{ de Agregado reciclado} = 25.76\text{kg} * 15\% = 3.864\text{kg}$$

$$\text{Agregado grueso} = 25.76\text{kg} - 3.864\text{kg} = 21.896 \text{ kg}$$

De esta manera se obtiene la dosificación las cuales incluirán el agregado reciclado:

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO		FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA		CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL	
					
INFLUENCIA DEL FUEGO EN LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN ELABORADO A PARTIR DE MATERIAL RECICLADO					
DOSIFICACIÓN DEL HORMIGÓN-METODO DE LA DENSIDAD ÓPTIMA ($f'c = 240\text{kg/cm}^2$)					
ORIGEN:	Mina Las Viñas-Ambato				
ENSAYADO POR:	Byron Quishpe	FECHA:	12/04/2023		
DOSIFICACION DEL HORMIGÓN CON AGREGADO RECICLADO					
MATERIAL		PORCENTAJE DE AGREGADO RECICLADO			TOTAL
NOMBRE	UNIDAD	0 AR%	15 AR%	30 AR%	
AGUA	L	4.177	4.177	4.177	12.530
CEMENTO	KG	7.270	7.270	7.270	21.809
ARENA	KG	17.693	17.693	17.693	53.078
RIPIO	KG	25.762	21.898	18.033	65.693
RECICLADO	KG	0.000	3.864	7.729	11.593

Tabla 38. Dosificación de hormigón con agregado reciclado $f'c=240\text{kg/cm}^2$

Fuente: Byron Javier Quishpe Toapanta

➤ **Propiedades del hormigón fresco**

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL 			
INFLUENCIA DEL FUEGO EN LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN ELABORADO A PARTIR DE MATERIAL RECICLADO			
ORIGEN:	Laboratorio FICM	NORMA:	NTE INEN 1578-ASTM C138
ENSAYADO POR:	Byron Quishpe	FECHA:	01/05/2023
PROPIEDADES DEL HORMIGÓN EN ESTADO FRESCO			
PROPIEDADES	PORCENTAJE DE AGREGADO RECICLADO		
	0 AR%	15 AR%	30 AR%
ASENTAMIENTO (cm)	7.00	7.00	6.00
TRABAJABILIDAD	Buena	Buena	Regular
HOMOGENEIDAD	Muy buena	Muy buena	Muy buena
CONSISTENCIA	Blanda	Blanda	Blanda

Tabla 39. Propiedades del hormigón fresco de los cilindros definitivos

Fuente: Byron Javier Quishpe Toapanta

Análisis 1: Se obtuvo para los cilindros de hormigón con 0% de agregado reciclado (o cilindros normales) un asentamiento de 7cm, lo que se encuentra dentro del rango entre 6 a 9, además una consistencia blanda, homogeneidad muy buena y trabajabilidad buena, al igual que de la mezcla con 15% de AR. No obstante, la mezcla con el 30% se vio afectada por la cantidad de sustitución, la cual generó una mayor absorción del agua por parte del material reciclado, lo que influyó en la trabajabilidad dando una calificación de regular y asentamiento de 6cm debido a la pérdida de humedad.



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



INFLUENCIA DEL FUEGO EN LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN ELABORADO A PARTIR DE MATERIAL RECICLADO

ORIGEN:	Laboratorio FICM	NORMA:	NTE INEN 1579-ASTM C138					
ENSAYADO POR:	Byron Quishpe	FECHA:	22/05/2023					
PESO ESPECIFICO DEL HORMIGÓN EN ESTADO FRESCO								
N° Cilindro	Nombre	Díámetro	Altura	Área	Peso	Volumen	Densidad	Densidad Promedio
		cm	cm	m ²	kg	m ³	kg/m ³	kg/m ³
1	HS-0AR%	10.00	20.00	0.0079	3.548	0.0016	2258.727	2254.058
2	HS-0AR%	10.00	20.00	0.0079	3.557	0.0016	2264.457	
3	HS-0AR%	10.00	20.00	0.0079	3.535	0.0016	2250.451	
4	HS-0AR%	10.00	20.00	0.0079	3.520	0.0016	2240.902	
5	HS-0AR%	10.00	20.00	0.0079	3.545	0.0016	2256.817	
6	HS-0AR%	10.00	20.00	0.0079	3.570	0.0016	2272.733	
7	HS-0AR%	10.00	20.00	0.0079	3.518	0.0016	2239.628	
8	HS-0AR%	10.00	20.00	0.0079	3.551	0.0016	2260.637	
9	HS-0AR%	10.00	20.00	0.0079	3.557	0.0016	2264.457	
10	HS-0AR%	10.00	20.00	0.0079	3.575	0.0016	2275.916	
11	HS-0AR%	10.00	20.00	0.0079	3.544	0.0016	2256.180	
12	HS-0AR%	10.00	20.00	0.0079	3.513	0.0016	2236.445	
13	HS-0AR%	10.00	20.00	0.0079	3.513	0.0016	2236.445	
14	HS-0AR%	10.00	20.00	0.0079	3.518	0.0016	2239.628	
15	HS-0AR%	10.00	20.00	0.0079	3.546	0.0016	2257.454	
1	HS-15AR%	10.05	20.00	0.0079	3.470	0.0016	2187.144	2210.087
2	HS-15AR%	10.05	20.00	0.0079	3.481	0.0016	2194.078	
3	HS-15AR%	10.05	20.00	0.0079	3.505	0.0016	2209.205	
4	HS-15AR%	10.05	20.00	0.0079	3.507	0.0016	2210.466	
5	HS-15AR%	10.05	20.00	0.0079	3.544	0.0016	2233.787	
6	HS-15AR%	10.05	20.00	0.0079	3.512	0.0016	2213.617	
7	HS-15AR%	10.05	20.00	0.0079	3.435	0.0016	2165.084	
8	HS-15AR%	10.05	20.00	0.0079	3.514	0.0016	2214.878	
9	HS-15AR%	10.05	20.00	0.0079	3.518	0.0016	2217.399	
10	HS-15AR%	10.05	20.00	0.0079	3.480	0.0016	2193.447	
11	HS-15AR%	10.00	20.00	0.0079	3.494	0.0016	2224.349	
12	HS-15AR%	10.00	20.00	0.0079	3.494	0.0016	2224.349	
13	HS-15AR%	10.00	20.00	0.0079	3.489	0.0016	2221.166	
14	HS-15AR%	10.00	20.00	0.0079	3.496	0.0016	2225.623	
15	HS-15AR%	10.00	20.00	0.0079	3.482	0.0016	2216.710	
1	HS-30AR%	10.30	20.10	0.0083	3.795	0.0017	2265.956	2180.850
2	HS-30AR%	10.30	20.10	0.0083	3.479	0.0017	2077.275	
3	HS-30AR%	10.30	20.10	0.0083	3.830	0.0017	2286.854	
4	HS-30AR%	10.30	20.10	0.0083	3.810	0.0017	2274.912	
5	HS-30AR%	10.30	20.10	0.0083	3.840	0.0017	2292.825	
6	HS-30AR%	10.30	20.10	0.0083	3.801	0.0017	2269.538	
7	HS-30AR%	10.30	20.10	0.0083	3.456	0.0017	2063.542	
8	HS-30AR%	10.27	20.10	0.0083	3.784	0.0017	2272.607	
9	HS-30AR%	10.27	20.10	0.0083	3.448	0.0017	2070.811	
10	HS-30AR%	10.27	20.10	0.0083	3.478	0.0017	2088.828	
11	HS-30AR%	10.27	20.10	0.0083	3.841	0.0017	2306.840	
12	HS-30AR%	10.28	20.10	0.0083	3.432	0.0017	2057.193	
13	HS-30AR%	10.28	20.10	0.0083	3.794	0.0017	2274.182	
14	HS-30AR%	10.28	20.10	0.0083	3.456	0.0017	2071.579	
15	HS-30AR%	10.28	20.10	0.0083	3.403	0.0017	2039.810	

Tabla 40. Peso específico del hormigón fresco de los cilindros definitivos

Fuente: Byron Javier Quishpe Toapanta

Análisis: En la tabla 40, se presenta un resumen del peso específico de cada cilindro de hormigón en estado fresco, por lo que se puede apreciar una ligera disminución en la densidad de las mezclas cuando se sustituye un 15% y 30% de AR a comparación de la de las mezclas de hormigón simple sin sustitución (0%). Se puede diferenciar con más detalle en la gráfica 12 el descenso de dichos valores.

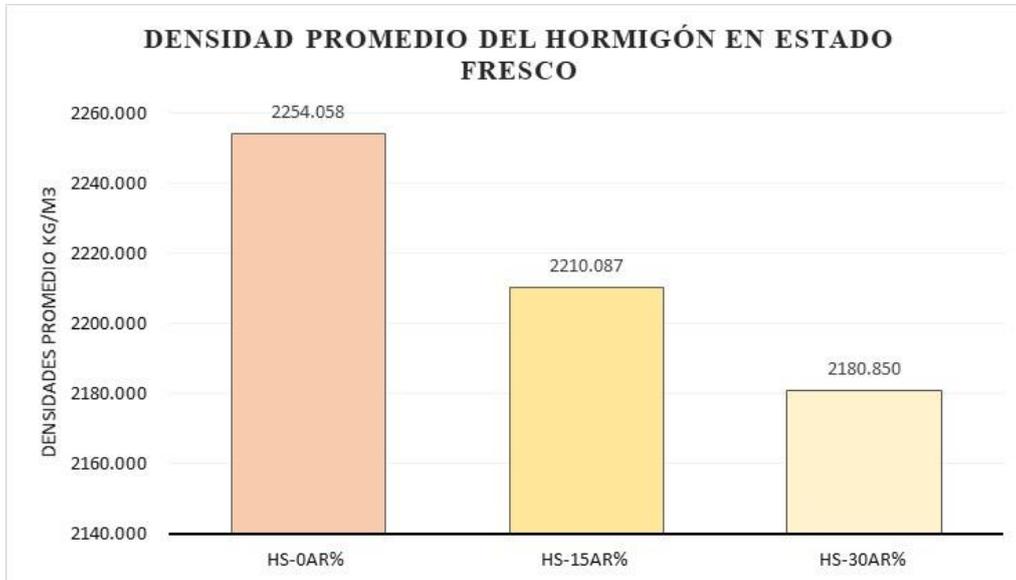


Figura 12. Análisis de las densidades promedio del hormigón en estado fresco
Fuente: Byron Javier Quishpe Toapanta

Análisis: La densidad de un hormigón normal en estado fresco se encuentra comprendido entre 2200 kg/m³ a 2300 kg/m³ según [45], por lo que nuestra densidad promedio fue de 2254.058 kg/m³, dando un valor exacto dentro del rango. De la misma forma, la densidad de un hormigón reciclado en estado fresco está comprendo entre 2150 kg/m³ a 2400kg/m³, por lo que se puede apreciar que nuestros valores promedios están dentro del rango 2210.087kg/m³ y 2180.850 kg/m³.

La variación en densidades con respecto al hormigón normal (0AR%) corresponde de un 1.95% para el 15% de AR, y de un 3.25% para el 30% de AR.

3.1.3 Exposición al fuego de las probetas cilíndricas

Los resultados a continuación muestran características de los especímenes antes y después de ser expuestas a fuego y una comparación entre ellas.

3.1.3.1 Cilindros de hormigón simple con 0%AR

➤ Propiedades de los cilindros de hormigón antes de ser expuestas a fuego

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO		FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA		CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL							
											
INFLUENCIA DEL FUEGO EN LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN ELABORADO A PARTIR DE MATERIAL RECICLADO											
ORIGEN:			Laboratorio FICM			NORMA:					NTE INEN 804 - NTE INEN 1579 - ASTM C138
ENSAYADO POR:			Byron Quishpe			FECHA:					22/05/2023
PROPIEDADES DE LOS CILINDROS DE HORMIGÓN ANTES DE SER EXPUESTAS AL FUEGO											
EDAD:		28 días		RESISTENCIA:		240 kg/cm ²		TIEMPO DE EXPOSICIÓN:		60 min	
Nombre	Peso	Promedio	Diámetro	Promedio	Altura	Promedio	Temperatura	Promedio	Volumen	Densidad	
	kg	kg	cm	cm	cm	cm	°C	°C	m ³	kg/m ³	
HS-0AR% ₀₁	3.538	3.538	10.00	10.00	20.00	20.00	18.80	18.83	0.0016	2250.648	
	3.537		10.00		20.00		19.00				
	3.538		10.01		20.00		18.70				
HS-0AR% ₀₂	3.547	3.548	10.00	10.01	20.00	19.99	18.30	18.27	0.0016	2255.132	
	3.548		10.01		19.97		18.20				
	3.548		10.02		20.00		18.30				
HS-0AR% ₀₃	3.535	3.535	10.00	10.00	19.90	19.95	18.40	18.07	0.0016	2254.375	
	3.534		10.01		20.00		18.00				
	3.535		10.00		19.95		17.80				
HS-0AR% ₀₄	3.510	3.510	10.01	10.01	20.00	19.97	18.50	18.50	0.0016	2235.284	
	3.510		10.01		19.90		18.60				
	3.510		10.00		20.00		18.40				
HS-0AR% ₀₅	3.545	3.545	10.00	10.01	19.90	19.87	18.50	18.50	0.0016	2267.426	
	3.545		10.03		19.80		18.60				
	3.545		10.00		19.90		18.40				
HS-0AR% ₀₆	3.56	3.560	10.00	10.00	20.00	20.03	17.60	17.43	0.0016	2261.088	
	3.56		9.99		20.00		17.50				
	3.56		10.02		20.10		17.20				
HS-0AR% ₀₇	3.508	3.508	10.01	10.01	19.90	19.97	17.30	17.13	0.0016	2233.799	
	3.508		10.00		20.00		17.20				
	3.507		10.01		20.00		16.90				
HS-0AR% ₀₈	3.551	3.551	10.00	10.01	19.90	19.93	17.20	17.07	0.0016	2265.176	
	3.551		10.00		19.90		17.10				
	3.551		10.02		20.00		16.90				
HS-0AR% ₀₉	3.557	3.557	10.00	10.01	20.20	20.10	17.80	17.63	0.0016	2248.691	
	3.557		10.02		20.10		17.70				
	3.557		10.01		20.00		17.40				
HS-0AR% ₁₀	3.565	3.564	10.01	10.01	20.10	20.03	17.00	16.90	0.0016	2262.332	
	3.564		10.00		20.00		16.90				
	3.564		10.01		20.00		16.80				
HS-0AR% ₁₁	3.544	3.544	10.00	10.01	20.00	19.97	17.30	17.03	0.0016	2256.725	
	3.543		10.02		19.90		17.00				
	3.544		10.00		20.00		16.80				
HS-0AR% ₁₂	3.513	3.513	10.00	10.01	20.00	19.97	17.20	17.03	0.0016	2234.217	
	3.513		10.03		19.90		17.00				
	3.513		10.01		20.00		16.90				
HS-0AR% ₁₃	3.503	3.503	10.03	10.02	19.80	19.90	17.50	17.27	0.0016	2233.833	
	3.503		10.02		19.90		17.30				
	3.503		10.00		20.00		17.00				
HS-0AR% ₁₄	3.518	3.518	10.02	10.02	20.00	20.03	17.30	17.00	0.0016	2225.504	
	3.518		10.03		20.10		16.90				
	3.518		10.02		20.00		16.80				
HS-0AR% ₁₅	3.536	3.536	10.02	10.01	20.00	20.00	17.00	16.70	0.0016	2244.885	
	3.535		10.00		20.00		16.50				
	3.536		10.02		20.00		16.60				

Tabla 41. Propiedades de las probetas cilíndricas (HS-0AR%) antes de ser expuestas al fuego

Fuente: Byron Javier Quishpe Toapanta

➤ **Propiedades de los cilindros de hormigón después de ser expuestas a fuego**

				UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL							
INFLUENCIA DEL FUEGO EN LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN ELABORADO A PARTIR DE MATERIAL RECICLADO											
ORIGEN:		Laboratorio FICM				NORMA:		NTE INEN 804 - NTE INEN 1579 - ASTM C138			
ENSAYADO POR:		Byron Quishpe				FECHA:		23/5/2023			
PROPIEDADES DE LOS CILINDROS DE HORMIGÓN DESPUÉS DE SER EXPUESTAS AL FUEGO											
EDAD:		28 días		RESISTENCIA:		240 kg/cm ²		TIEMPO DE EXPOSICIÓN:		60 min	
Nombre	Peso	Promedio	Diámetro	Promedio	Altura	Promedio	Temperatura	Promedio	Volumen	Densidad	
	kg	kg	cm	cm	cm	cm	°C	°C	m ³	kg/m ³	
0°C	HS - 0AR% ₀₁	3.538	3.538	10.00	10.00	20.00	20.00	18.80	18.83	0.0016	2250.648
		3.537		10.00		20.00		19.00			
		3.538		10.01		20.00		18.70			
	HS - 0AR% ₀₂	3.547	3.548	10.00	10.01	20.00	19.99	18.30	18.27	0.0016	2255.132
		3.548		10.01		19.97		18.20			
		3.548		10.02		20.00		18.30			
	HS - 0AR% ₀₃	3.535	3.535	10.00	10.00	19.90	19.95	18.40	18.07	0.0016	2254.375
		3.534		10.01		20.00		18.00			
		3.535		10.00		19.95		17.80			
250°C	HS - 0AR% ₀₄	3.488	3.488	10.01	10.03	19.50	19.80	17.50	17.30	0.0016	2229.349
		3.487		10.00		20.00		17.30			
		3.488		10.08		19.90		17.10			
	HS - 0AR% ₀₅	3.433	3.432	10.00	10.01	20.00	19.97	17.80	17.63	0.0016	2184.156
		3.431		10.02		19.90		17.60			
		3.432		10.01		20.00		17.50			
	HS - 0AR% ₀₆	3.489	3.489	10.01	10.00	19.90	19.97	17.50	17.60	0.0016	2223.392
		3.489		9.99		20.00		17.50			
		3.489		10.01		20.00		17.80			
400°C	HS - 0AR% ₀₇	3.332	3.332	9.98	9.99	19.00	19.67	19.10	19.20	0.0015	2161.491
		3.332		9.98		20.00		19.60			
		3.332		10.01		20.00		18.90			
	HS - 0AR% ₀₈	3.371	3.371	10.00	10.00	20.00	19.93	19.10	19.20	0.0016	2154.446
		3.371		10.00		19.80		19.50			
		3.37		9.99		20.00		19.00			
	HS - 0AR% ₀₉	3.424	3.424	10.00	9.95	19.90	19.83	18.90	19.07	0.0015	2220.034
		3.424		10.00		19.70		19.10			
		3.423		9.85		19.90		19.20			
600°C	HS - 0AR% ₁₀	2.946	2.946	10.00	9.72	20.00	20.00	18.50	18.37	0.0015	1985.091
		2.946		10.01		20.00		18.40			
		2.946		9.15		20.00		18.20			
	HS - 0AR% ₁₁	3.186	3.186	10.08	10.03	20.00	19.93	18.00	18.17	0.0016	2021.766
		3.187		10.00		19.80		18.10			
		3.186		10.02		20.00		18.40			
	HS - 0AR% ₁₂	2.893	2.892	7.50	8.56	19.80	19.93	18.00	18.37	0.0011	2521.338
		2.892		9.98		20.00		18.60			
		2.892		8.20		20.00		18.50			
800°C	HS - 0AR% ₁₃	3.268	3.269	9.99	9.96	19.90	19.97	20.00	20.87	0.0016	2102.554
		3.269		9.98		20.00		21.10			
		3.269		9.90		20.00		21.50			
	HS - 0AR% ₁₄	3.192	3.192	8.80	9.57	20.00	19.93	19.60	19.90	0.0014	2228.010
		3.193		9.90		19.90		20.00			
		3.192		10.00		19.90		20.10			
	HS - 0AR% ₁₅	3.335	3.268	9.99	9.99	19.80	19.87	20.00	20.17	0.0016	2098.631
		3.334		9.98		19.90		19.90			
		3.135		10.00		19.90		20.60			

Tabla 42. Propiedades de las probetas cilíndricas (HS-0AR%) después de ser expuestas al fuego

Fuente: Byron Javier Quishpe Toapanta

Análisis: Existe una reducción significativa en la densidad después de exponerse al fuego, esto es claro afirmar debido al deterioro físico y químico que se produce en el

interior del concreto, las altas temperaturas desintegran el silicato de calcio hidratado (CSH) o también llamado gel de cemento, generando así una disminución tanto en peso como en volumen. Se puede apreciar con mayor detalle en las figuras siguientes:

➤ **Comparación entre cilindros antes y después de ser expuestos al fuego**

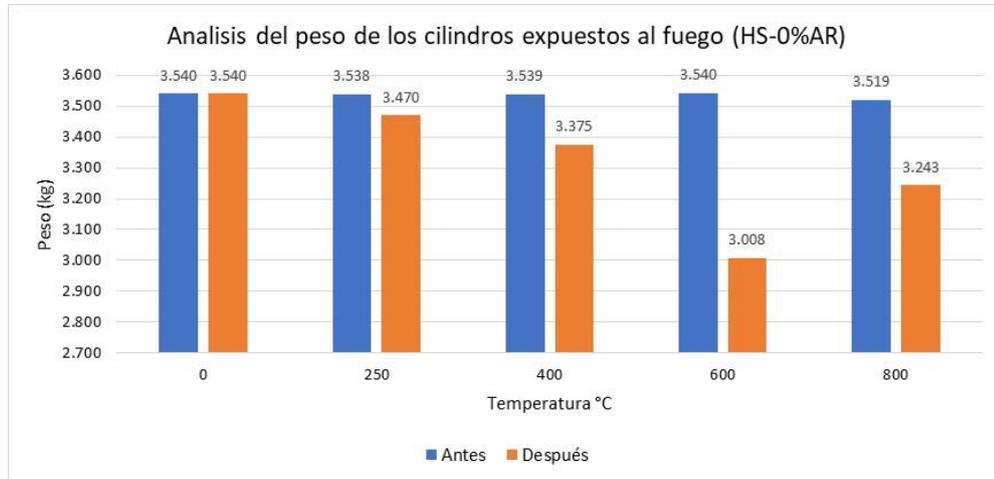


Figura 13. Análisis del peso de los cilindros (HS-0AR%) expuestos al fuego antes y después
Fuente: Byron Javier Quishpe Toapanta

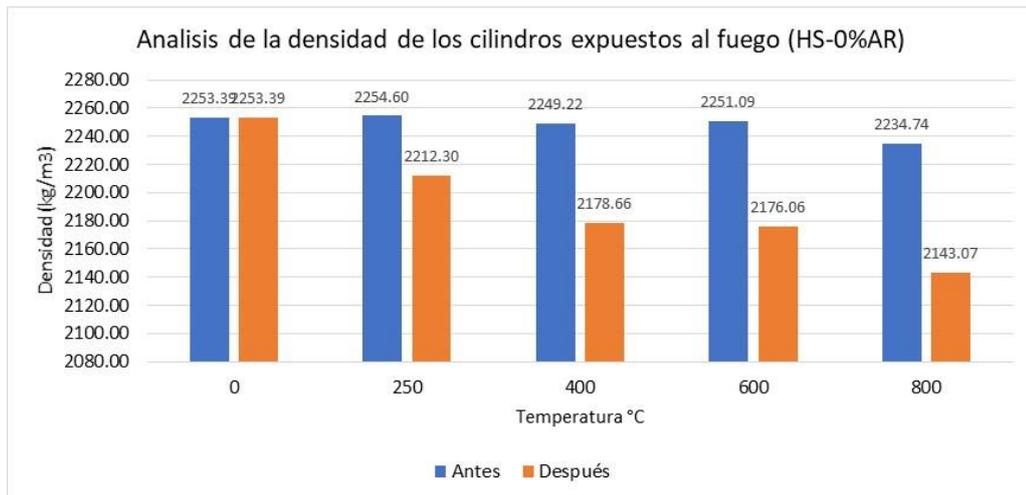


Figura 14. Análisis de la densidad de los cilindros (HS-0AR%) expuestos al fuego antes y después
Fuente: Byron Javier Quishpe Toapanta

3.1.3.2 Cilindros de hormigón simple con 15%AR

➤ Propiedades de los cilindros de hormigón antes de ser expuestas a fuego

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL								
INFLUENCIA DEL FUEGO EN LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN ELABORADO A PARTIR DE MATERIAL RECICLADO										
ORIGEN:		Laboratorio FICM				NORMA:		NTE INEN 804 - NTE INEN 1579 - ASTM C138		
ENSAYADO POR:		Byron Quishpe				FECHA:		24/05/2023		
PROPIEDADES DE LOS CILINDROS DE HORMIGÓN ANTES DE SER EXPUESTAS AL FUEGO										
EDAD:		28 días		RESISTENCIA:		240 kg/cm ²		TIEMPO DE EXPOSICIÓN:		60 min
Nombre	Peso	Promedio	Diámetro	Promedio	Altura	Promedio	Temperatura	Promedio	Volumen	Densidad
	kg	kg	cm	cm	cm	cm	°C	°C	m ³	kg/m ³
HS-15AR% ₀₁	3.440	3.441	10.00	10.00	19.90	19.97	17.50	17.20	0.0016	2192.591
	3.441		10.00		20.00		17.30			
	3.441		10.01		20.00		16.80			
HS-15AR% ₀₂	3.451	3.451	9.99	10.00	19.95	19.97	17.90	17.27	0.0016	2202.110
	3.451		10.00		19.95		16.50			
	3.451		10.00		20.00		17.40			
HS-15AR% ₀₃	3.455	3.455	9.80	9.90	20.00	20.00	17.20	17.43	0.0015	2244.181
	3.455		9.95		20.00		17.70			
	3.455		9.95		20.00		17.40			
HS-15AR% ₀₄	3.477	3.478	10.00	10.00	20.00	19.98	19.10	18.00	0.0016	2217.488
	3.479		10.00		19.95		17.70			
	3.478		9.99		20.00		17.20			
HS-15AR% ₀₅	3.504	3.505	10.00	10.00	20.05	20.02	17.20	17.20	0.0016	2230.769
	3.505		9.99		20.00		17.00			
	3.505		10.00		20.00		17.40			
HS-15AR% ₀₆	3.482	3.482	10.00	10.00	20.00	20.00	17.10	16.80	0.0016	2217.976
	3.481		9.99		20.00		16.50			
	3.482		10.00		20.00		16.80			
HS-15AR% ₀₇	3.405	3.405	10.00	10.00	19.98	19.99	17.50	17.30	0.0016	2168.201
	3.404		10.00		20.00		17.30			
	3.405		10.00		20.00		17.10			
HS-15AR% ₀₈	3.474	3.474	10.00	10.00	20.10	20.03	16.90	17.23	0.0016	2207.725
	3.474		10.00		20.00		17.20			
	3.473		10.00		20.00		17.60			
HS-15AR% ₀₉	3.478	3.478	10.00	10.00	20.00	20.00	17.90	17.60	0.0016	2216.222
	3.479		10.00		20.00		17.60			
	3.478		9.99		19.99		17.30			
HS-15AR% ₁₀	3.450	3.451	10.07	10.07	19.90	20.00	17.80	17.60	0.0016	2167.972
	3.452		10.08		20.00		17.60			
	3.451		10.05		20.10		17.40			
HS-15AR% ₁₁	3.454	3.454	10.00	10.00	19.99	20.00	17.60	17.43	0.0016	2197.574
	3.453		10.01		20.00		17.20			
	3.454		10.00		20.00		17.50			
HS-15AR% ₁₂	3.454	3.454	10.01	10.01	20.00	19.97	17.90	17.53	0.0016	2198.157
	3.454		10.02		19.90		17.20			
	3.454		10.00		20.00		17.50			
HS-15AR% ₁₃	3.459	3.460	10.00	10.03	19.95	19.96	15.90	15.50	0.0016	2193.724
	3.460		9.99		19.95		15.50			
	3.460		10.10		19.98		15.10			
HS-15AR% ₁₄	3.456	3.456	9.99	10.03	20.00	20.00	15.90	15.47	0.0016	2187.016
	3.456		10.10		20.00		15.50			
	3.456		10.00		20.00		15.00			
HS-15AR% ₁₅	3.452	3.452	10.05	10.04	19.98	19.99	16.00	15.60	0.0016	2180.862
	3.452		10.05		20.00		15.50			
	3.452		10.02		20.00		15.30			

Tabla 43. Propiedades de las probetas cilíndricas (HS-15AR%) antes de ser expuestas al fuego
Fuente: Byron Javier Quishpe Toapanta

➤ **Propiedades de los cilindros de hormigón después de ser expuestas a fuego**

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO		FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA		CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL					
											
INFLUENCIA DEL FUEGO EN LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN ELABORADO A PARTIR DE MATERIAL RECICLADO											
ORIGEN:		Laboratorio FICM				NORMA:		NTE INEN 804 - NTE INEN 1579 - ASTM C138			
ENSAYADO POR:		Byron Quishpe				FECHA:		25/5/2023			
PROPIEDADES DE LOS CILINDROS DE HORMIGÓN DESPUÉS DE SER EXPUESTAS AL FUEGO											
EDAD:		28 días		RESISTENCIA:		240 kg/cm ²		TIEMPO DE EXPOSICIÓN:			
Nombre		Peso	Promedio	Diámetro	Promedio	Altura	Promedio	Temperatura	Promedio	Volumen	Densidad
		kg	kg	cm	cm	cm	cm	°C	°C	m³	kg/m³
0°C	HS - 15AR% ₀₁	3.440	3.441	10.00	10.00	19.90	19.97	17.50	17.20	0.0016	2192.591
		3.441		10.00		20.00		17.30			
		3.441		10.01		20.00		16.80			
	HS - 15AR% ₀₂	3.451	3.451	9.99	10.00	19.95	19.97	17.90	17.27	0.0016	2202.110
		3.451		10.00		19.95		16.50			
		3.451		10.00		20.00		17.40			
	HS - 15AR% ₀₃	3.455	3.455	9.80	9.90	20.00	20.00	17.20	17.43	0.0015	2244.181
		3.455		9.95		20.00		17.70			
		3.455		9.95		20.00		17.40			
250°C	HS - 15AR% ₀₄	3.386	3.386	10.00	10.00	19.70	19.83	18.50	18.30	0.0016	2173.495
		3.385		10.00		19.90		18.20			
		3.386		10.00		19.90		18.20			
	HS - 15AR% ₀₅	3.373	3.373	10.00	10.00	20.00	19.93	18.20	17.83	0.0016	2154.287
		3.372		10.00		19.90		17.50			
		3.373		10.00		19.90		17.80			
	HS - 15AR% ₀₆	3.284	3.284	10.00	10.00	20.00	19.93	18.00	18.27	0.0016	2098.838
		3.284		9.99		19.90		18.60			
		3.283		10.00		19.90		18.20			
400°C	HS - 15AR% ₀₇	3.202	3.202	9.90	9.75	19.50	19.63	17.50	17.77	0.0015	2184.380
		3.202		9.35		19.90		18.20			
		3.202		10.00		19.50		17.60			
	HS - 15AR% ₀₈	3.173	3.173	10.00	10.00	20.00	19.93	18.60	18.63	0.0016	2026.750
		3.173		10.00		19.90		18.50			
		3.173		10.00		19.90		18.80			
	HS - 15AR% ₀₉	3.239	3.239	10.00	9.87	19.60	19.83	18.20	17.87	0.0015	2133.034
		3.239		9.82		19.90		17.50			
		3.239		9.80		20.00		17.90			
600°C	HS - 15AR% ₁₀	2.950	2.950	8.90	9.36	19.90	19.93	18.20	17.77	0.0014	2149.271
		2.950		9.99		20.00		17.60			
		2.950		9.20		19.90		17.50			
	HS - 15AR% ₁₁	3.055	3.068	10.00	10.00	19.80	19.93	17.70	17.57	0.0016	1961.202
		3.075		10.00		20.00		17.80			
		3.075		9.99		20.00		17.20			
	HS - 15AR% ₁₂	3.005	3.005	10.00	10.00	19.80	19.83	17.90	17.57	0.0016	1930.405
		3.005		10.00		19.90		17.40			
		3.005		9.99		19.80		17.40			
800°C	HS - 15AR% ₁₃	2.876	2.876	9.90	9.65	19.80	19.73	21.00	20.83	0.0014	1992.709
		2.876		9.10		19.70		20.00			
		2.876		9.95		19.70		21.50			
	HS - 15AR% ₁₄	3.059	3.059	10.00	10.00	19.80	19.83	20.60	20.93	0.0016	1963.785
		3.059		10.00		19.90		21.50			
		3.059		10.00		19.80		20.70			
	HS - 15AR% ₁₅	3.021	3.021	9.20	9.69	19.90	19.83	21.40	20.97	0.0015	2064.043
		3.021		9.98		19.80		20.10			
		3.021		9.90		19.80		21.40			

Tabla 44. Propiedades de las probetas cilíndricas (HS-15AR%) después de ser expuestas al fuego
Fuente: Byron Javier Quishpe Toapanta

Análisis: Se puede observar una disminución aun mayor en la densidad de los hormigones con 15% de AR después de exponerse al fuego, esto es claro afirmar debido a que dentro de la mezcla existe material reciclado compuesto de piedra y mortero adherido, lo que provoca una mayor absorción del agua, la que al final con el aumento de la temperatura se evaporará generando una pérdida de masa y volumen.

➤ **Comparación entre cilindros antes y después de ser expuestos al fuego**

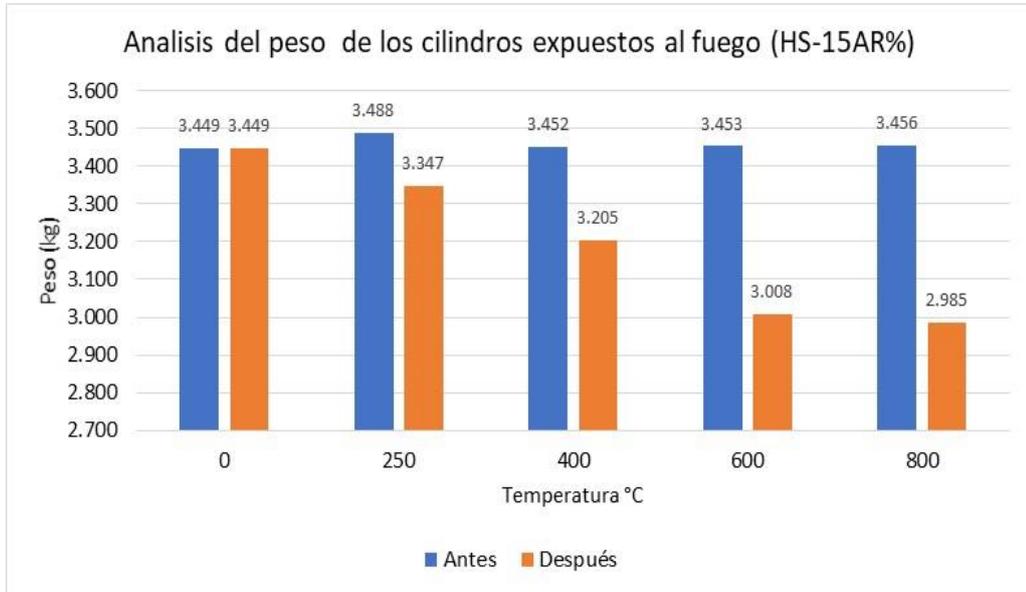


Figura 15. Análisis del peso de los cilindros (HS-15AR%) expuestos al fuego antes y después
Fuente: Byron Javier Quishpe Toapanta

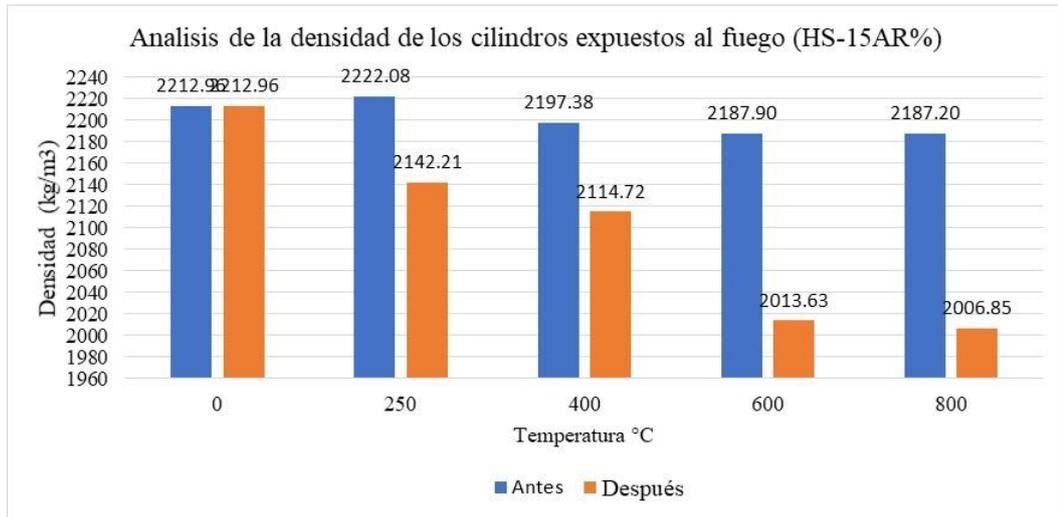


Figura 16. Análisis de la densidad de los cilindros (HS-15AR%) expuestos al fuego antes y después
Fuente: Byron Javier Quishpe Toapanta

3.1.3.3 Cilindros de hormigón simple con 30%AR

➤ Propiedades de los cilindros de hormigón antes de ser expuestas a fuego

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO		FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA					CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL			
										
INFLUENCIA DEL FUEGO EN LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN ELABORADO A PARTIR DE MATERIAL RECICLADO										
ORIGEN:		Laboratorio FICM				NORMA:		NTE INEN 804 - NTE INEN 1579 - ASTM C138		
ENSAYADO POR:		Byron Quishpe				FECHA:		26/05/2023		
PROPIEDADES DE LOS CILINDROS DE HORMIGÓN ANTES DE SER EXPUESTAS AL FUEGO										
EDAD:	28 días		RESISTENCIA:		240 kg/cm ²		TIEMPO DE EXPOSICIÓN:			60 min
Nombre	Peso	Promedio	Diámetro	Promedio	Altura	Promedio	Temperatura	Promedio	Volumen	Densidad
	kg	kg	cm	cm	cm	cm	°C	°C	m ³	kg/m ³
HS-30AR% 01	3.774	3.774	10.40	10.43	20.00	20.00	16.10	15.97	0.0017	2206.975
	3.773		10.50		20.00		16.10			
	3.774		10.40		20.00		15.70			
HS-30AR% 02	3.469	3.468	10.10	10.13	20.20	20.10	15.80	15.67	0.0016	2139.177
	3.467		10.30		20.10		15.60			
	3.467		10.00		20.00		15.60			
HS-30AR% 03	3.810	3.811	10.40	10.43	20.20	20.23	16.00	15.60	0.0017	2202.914
	3.811		10.50		20.30		15.80			
	3.811		10.40		20.20		15.00			
HS-30AR% 04	3.790	3.790	10.40	10.37	20.30	20.23	15.00	14.77	0.0017	2219.237
	3.790		10.30		20.20		14.80			
	3.790		10.40		20.20		14.50			
HS-30AR% 05	3.830	3.830	10.40	10.43	20.30	20.23	14.40	14.20	0.00173	2213.897
	3.829		10.50		20.20		14.20			
	3.830		10.40		20.20		14.00			
HS-30AR% 06	3.781	3.782	10.40	10.40	20.40	20.30	15.30	15.27	0.0017	2192.960
	3.782		10.40		20.20		15.50			
	3.782		10.40		20.30		15.00			
HS-30AR% 07	3.436	3.436	10.10	10.17	19.90	20.00	16.60	16.49	0.0016	2116.500
	3.437		10.20		20.00		16.16			
	3.436		10.20		20.10		16.70			
HS-30AR% 08	3.774	3.774	10.50	10.40	20.20	20.20	15.20	15.07	0.0017	2199.348
	3.774		10.30		20.30		15.00			
	3.774		10.40		20.10		15.00			
HS-30AR% 09	3.438	3.438	10.10	10.10	19.90	19.93	15.00	14.80	0.0016	2152.749
	3.438		10.10		20.00		14.80			
	3.438		10.10		19.90		14.60			
HS-30AR% 10	3.468	3.468	10.00	10.07	20.00	19.97	14.40	14.17	0.0016	2182.079
	3.467		10.10		19.90		14.00			
	3.468		10.10		20.00		14.10			
HS-30AR% 11	3.830	3.831	10.50	10.43	20.30	20.27	14.00	14.00	0.0017	2210.833
	3.831		10.40		20.20		14.10			
	3.831		10.40		20.30		13.90			
HS-30AR% 12	3.422	3.421	10.10	10.12	19.95	20.00	13.80	13.90	0.0016	2128.142
	3.420		10.10		20.05		13.70			
	3.422		10.15		20.00		14.20			
HS-30AR% 13	3.774	3.774	10.30	10.40	20.30	20.27	16.30	16.23	0.0017	2192.307
	3.774		10.50		20.20		16.40			
	3.775		10.40		20.30		16.00			
HS-30AR% 14	3.436	3.436	10.15	10.13	20.10	20.03	16.00	16.03	0.0016	2126.490
	3.435		10.15		20.00		16.10			
	3.436		10.10		20.00		16.00			
HS-30AR% 15	3.393	3.393	10.10	10.10	19.99	20.00	16.20	16.17	0.0016	2117.634
	3.392		10.10		20.00		16.20			
	3.393		10.10		20.00		16.10			

Tabla 45. Propiedades de las probetas cilíndricas (HS-30AR%) antes de ser expuestas al fuego

Fuente: Byron Javier Quishpe Toapanta

➤ **Propiedades de los cilindros de hormigón después de ser expuestas a fuego**

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO		FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA		CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL						
												
INFLUENCIA DEL FUEGO EN LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN ELABORADO A PARTIR DE MATERIAL RECICLADO												
ORIGEN:		Laboratorio FICM			NORMA:		NTE INEN 804 - NTE INEN 1579 - ASTM C138					
ENSAYADO POR:		Byron Quishpe			FECHA:		29/5/2023					
PROPIEDADES DE LOS CILINDROS DE HORMIGÓN DESPUÉS DE SER EXPUESTAS AL FUEGO												
EDAD:		28 días		RESISTENCIA:		240 kg/cm ²		TIEMPO DE EXPOSICIÓN:		60 min		
Nombre	Peso	Promedio	Diámetro	Promedio	Altura	Promedio	Temperatura	Promedio	Volumen	Densidad		
											kg	kg
0°C	HS - 30AR% ₀₁	3.774	3.774	10.40	10.43	20.00	20.00	16.10	15.97	0.0017	2206.975	
		3.773		10.50		20.00		16.10				
		3.774		10.40		20.00		15.70				
	HS - 30AR% ₀₂	3.469	3.468	10.10	10.13	20.20	20.10	15.80	15.67	0.0016	2139.177	
		3.467		10.30		20.10		15.60				
		3.467		10.00		20.00		15.60				
	HS - 30AR% ₀₃	3.810	3.811	10.40	10.43	20.20	20.23	16.00	15.60	0.0017	2202.914	
		3.811		10.50		20.30		15.80				
		3.811		10.40		20.20		15.00				
250°C	HS - 30AR% ₀₄	3.483	3.483	10.30	10.07	20.00	20.07	15.40	14.90	0.0016	2180.806	
		3.483		10.40		20.10		14.60				
		3.483		9.50		20.10		14.70				
	HS - 30AR% ₀₅	3.667	3.666	10.40	10.30	20.30	20.23	15.10	14.83	0.0017	2174.309	
		3.665		10.30		20.20		14.60				
		3.665		10.20		20.20		14.80				
	HS - 30AR% ₀₆	3.559	3.559	10.30	10.30	20.20	20.20	14.80	14.47	0.0017	2114.522	
		3.559		10.30		20.20		14.30				
		3.559		10.30		20.20		14.30				
400°C	HS - 30AR% ₀₇	3.366	3.366	9.90	9.93	19.80	21.57	18.00	18.57	0.0017	2013.962	
		3.366		9.90		19.90		19.10				
		3.366		10.00		25.00		18.60				
	HS - 30AR% ₀₈	3.661	3.660	10.30	10.27	20.20	20.17	18.30	18.47	0.0017	2192.490	
		3.660		10.30		20.20		19.00				
		3.660		10.20		20.10		18.10				
	HS - 30AR% ₀₉	3.248	3.248	9.90	9.93	19.80	19.83	18.20	18.77	0.0015	2113.199	
		3.248		9.95		19.90		19.00				
		3.248		9.95		19.80		19.10				
600°C	HS - 30AR% ₁₀	3.067	3.067	9.96	9.97	20.20	20.13	19.80	18.10	0.0016	1950.180	
		3.068		9.98		20.20		17.60				
		3.067		9.98		20.00		16.90				
	HS - 30AR% ₁₁	3.402	3.403	10.25	10.25	20.30	20.23	16.80	17.00	0.0017	2038.048	
		3.404		10.20		20.20		16.90				
		3.402		10.30		20.20		17.30				
	HS - 30AR% ₁₂	Explotó (No fue posible hacer el ensayo)										
	800°C	HS - 30AR% ₁₃	3.314	3.314	10.00	10.03	20.10	20.00	16.50	16.87	0.0016	2095.763
			3.314		10.00		19.90		17.20			
3.314			10.10		20.00		16.90					
HS - 30AR% ₁₄		3.013	3.014	9.90	9.90	19.90	19.87	18.50	17.83	0.0015	1970.652	
		3.014		9.90		19.80		17.10				
		3.014		9.90		19.90		17.90				
HS - 30AR% ₁₅		2.974	2.974	9.90	9.90	19.90	19.90	16.80	17.17	0.0015	1941.456	
		2.974		9.90		19.90		17.20				
		2.974		9.90		19.90		17.50				

Tabla 46. Propiedades de las probetas cilíndricas (HS-30AR%) después de ser expuestas al fuego
Fuente: Byron Javier Quishpe Toapanta

Análisis: Se puede observar una disminución aun mayor en la densidad de los hormigones con 30% de AR después de exponerse al fuego, esto es claro afirmar debido a que dentro de la mezcla existe material reciclado compuesto de piedra y mortero adherido, lo que provoca una mayor absorción del agua, la que al final con el aumento de la temperatura se evaporará generando una pérdida de masa y volumen.

➤ **Comparación entre cilindros antes y después de ser expuestos al fuego**

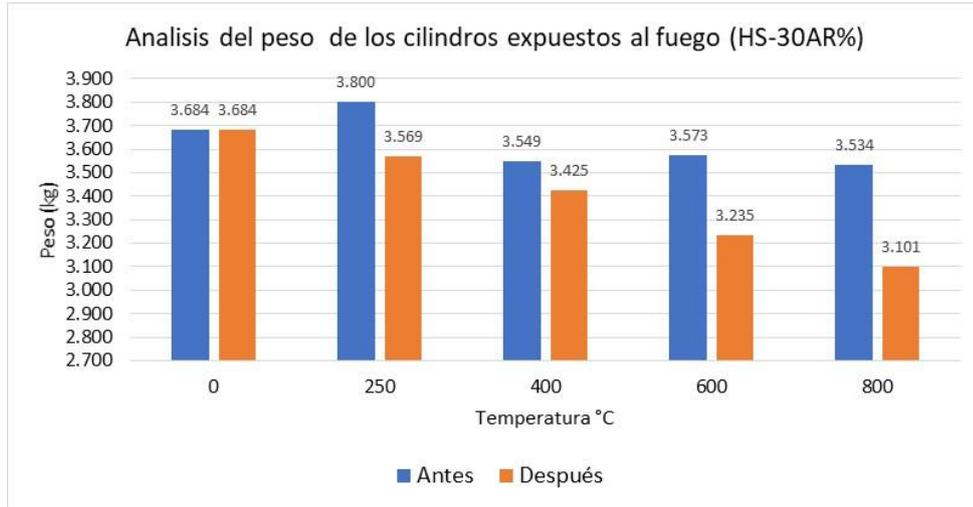


Figura 17. Análisis del peso de los cilindros (HS-30AR%) expuestos al fuego antes y después
Fuente: Byron Javier Quishpe Toapanta

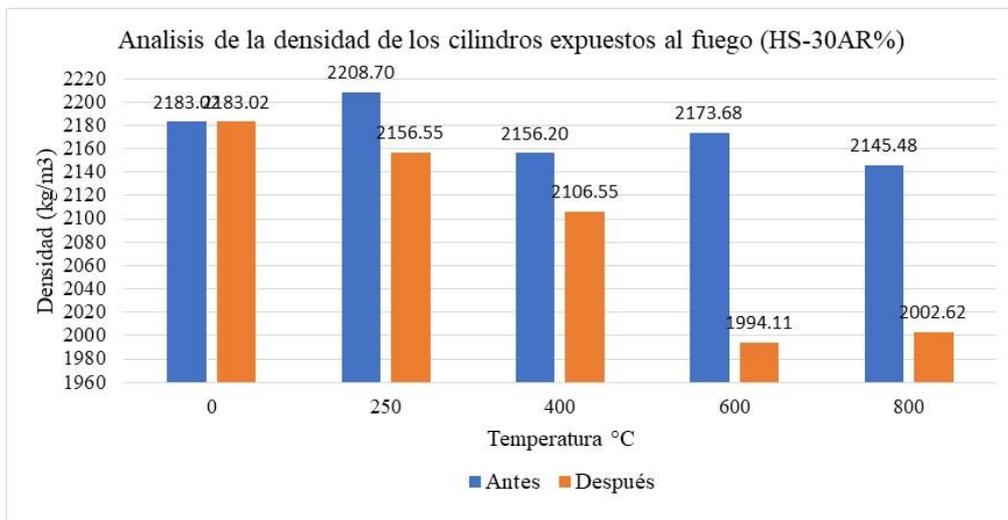


Figura 18. Análisis de la densidad de los cilindros (HS-30AR%) expuestos al fuego antes y después
Fuente: Byron Javier Quishpe Toapanta

3.1.3.4 Análisis del peso específico entre las muestras de hormigón después de exponerse al fuego

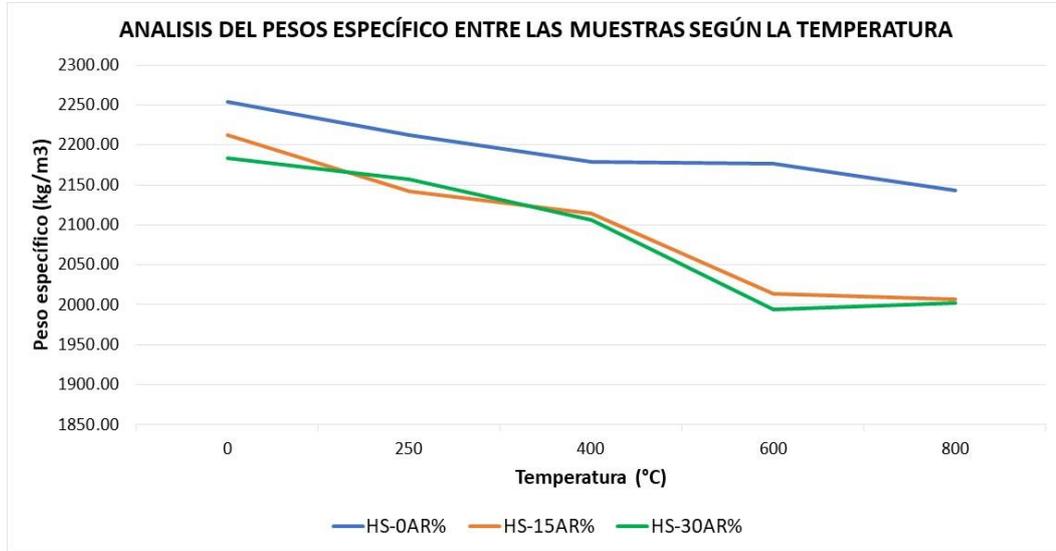


Figura 19. Análisis de la densidad de las muestras de hormigón luego de la exposición al fuego.

Fuente: Byron Javier Quishpe Toapanta

Análisis: Como se puede apreciar, existe una disminución en la relación masa/volumen según el incremento de la temperatura y la sustitución de %AR, es decir, que mientras más sustitución exista menos denso será el hormigón, por lo que tiene el mismo comportamiento cuando se exponga a temperaturas elevadas, llegando a obtener valores de densidad por debajo de los 2000 kg/m³.

3.1.3.4 Evaluación de las propiedades físicas de las muestras de hormigón expuestas a fuego

➤ Hormigones con 0% de AR

TEMPERATURA EXPUESTA	FISURAS O AGRIETAMIENTOS	DESPRENDIMIENTO O DESCONCHADO	CAMBIOS DE COLOR
0°C o ambiente	Ninguna	Ninguna	Gris
Descripción: Debido a que no se expone a fuego no se presenta ningún daño.			
250°C			
Descripción: Se puede apreciar daños como pequeñas micro fisuras con ancho <1mm, además desprendimientos leves y cambios de color a oscuro no tan notorios.			
400°C			
Descripción: Se puede presenciar una mayor aparición de fisuras a comparación con la anterior, además desprendimientos un poco más apreciables y cambios de color más notorios con tonalidad a un marrón claro.			
600°C			

Descripción: Se presencia daños severos en la estructura del concreto como la aparición de grietas que desmoronan la capa superficial, el desconchado violento de casi el 40% del espécimen y un cambio de color a tonalidad rosada.



Descripción: Presencia de daños irreversibles, toda la estructura está compuesta por grietas profundas hasta el interior del cilindro, desconchado y desprendimiento de casi el 40% y cambios de color a gris ceniza y zonas amarillentas.

Tabla 47. Daños producidos en las probetas cilíndricas (HS-0AR%) después de exponerse al fuego
Fuente: Byron Javier Quishpe Toapanta

➤ **Hormigones con 15% de AR**

TEMPERATURA EXPUESTA	FISURAS O AGRIETAMIENTOS	DESPRENDIMIENTO O DESCONCHADO	CAMBIOS DE COLOR
0°C o ambiente	Ninguna	Ninguna	Gris

Descripción: Debido a que no se expone a fuego no se presenta ningún daño



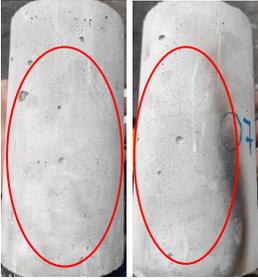
Descripción: Se observa de daños leves en la superficie de los cilindros, pequeñas fisuras en algunas zonas, pequeños desprendimientos y no existe cambio de color

<p style="text-align: center;">400°C</p> 			
<p>Descripción: Se observa una mayor presencia de fisuras en algunas zonas, mayores desprendimientos y un cambio de color con tonalidad marrón claro</p>			
<p style="text-align: center;">600°C</p> 			
<p>Descripción: Se observa daños más bruscos en el hormigón, con grietas en toda la superficie, desconchado de al menos el 40% en algunas muestras y cambios de color con tonalidad rosado oscuro.</p>			
<p style="text-align: center;">800°C</p> 			
<p>Descripción: Se puede observar daños más graves en el hormigón, con la aparición de grietas en toda la superficie, desconchado de al menos el 25% en algunas partes del cilindro, y un cambio de color con tonalidad gris claro</p>			

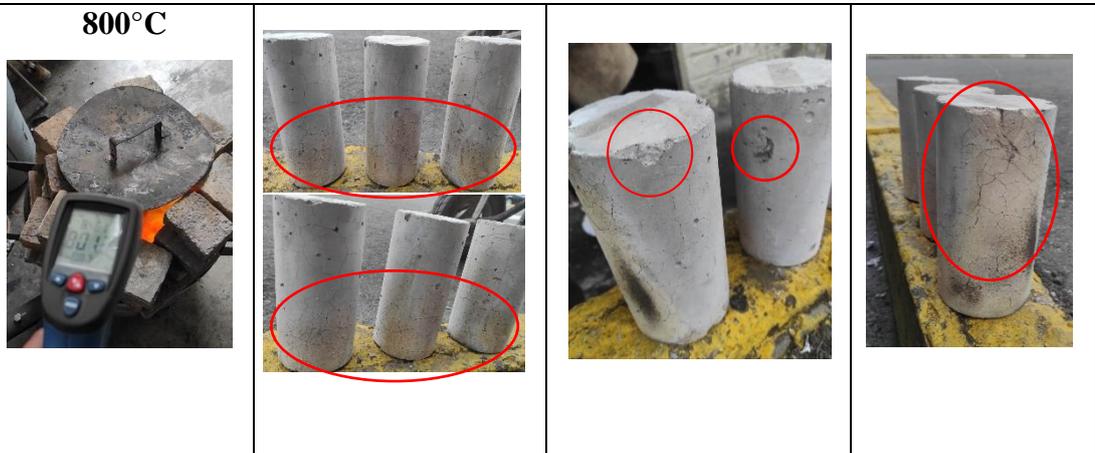
Tabla 48. Daños producidos en las probetas cilíndricas (HS-15AR%) después de exponerse al fuego

Fuente: Byron Javier Quishpe Toapanta

➤ **Hormigones con 30% de AR**

TEMPERATURA EXPUESTA	FISURAS O AGRIETAMIENTOS	DESPRENDIMIENTO O DESCONCHADO	CAMBIOS DE COLOR
0°C o ambiente	Ninguna	Ninguna	Gris
Descripción: Debido a que no se expone a fuego no se presenta ningún daño			
<p style="text-align: center;">250°C</p> 			
Descripción: Se observa pequeñas fisuras en algunas zonas de la superficie del concreto, algunos desprendimientos notorios y cambios de color a oscuro			
<p style="text-align: center;">400°C</p> 			
Descripción: Se puede apreciar daños muy similares a los del anterior, unas pequeñas fisuras, pero en gran proporción, algunos desprendimientos notorios y cambios de color debido a la calcinación			
<p style="text-align: center;">600°C</p> 			

Descripción: Se observa daños más graves, como la aparición de grietas en gran parte de la superficie del cilindro, además un desconchado violento que produjo la fracturación de casi el 50% del espécimen, imposibilitando así su ensayo a compresión. De la misma forma cambios de color a tonalidad rosado claro.



Descripción: Para una temperatura a 800°C, existe una pérdida total de resistencia, puesto que en todo el cilindro se presenta grietas de gran tamaño, a pesar que no existe desprendimiento o desconchado se puede apreciar como gran parte del material se ablanda o se deshace cuando se comprime. En su tonalidad presenta varios colores como gris ceniza, rosado y zonas amarillentas.

Tabla 49. Daños producidos en las probetas cilíndricas (HS-30AR%) después de exponerse al fuego
Fuente: Byron Javier Quishpe Toapanta

3.1.4 Ensayo de resistencia a compresión

➤ Resistencia a compresión de los cilindros HS-0AR%

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO		FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA		CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL				
INFLUENCIA DEL FUEGO EN LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN ELABORADO A PARTIR DE MATERIAL RECICLADO								
ORIGEN:		Laboratorio FICM		NORMA:		NTE INEN 804 - NTE INEN 1579 - ASTM C138		
ENSAYADO POR:		Byron Quishpe		FECHA:		12/6/2023		
RESISTENCIA A COMPRESIÓN DE LOS CILINDROS (HS-0AR%) DESPUÉS DE SER EXPUESTOS A FUEGO								
EDAD:	28 días	RESISTENCIA:			240 kg/cm ²	RANGO DE F°C (240kg/cm ²):		(228 a 252)kg/cm ²
Temp. Expuesta	Nombre de la muestra	Diámetro	Area	Carga (P)	Carga (P)	Esf. Compresión	Esf. Compresión Promedio	Perdida Resistencia
°C								
0	HS - 0AR% ₀₁	10.00	78.59	204.00	20400	259.57	251.39	0%
	HS - 0AR% ₀₂	10.01	78.70	208.00	20800	264.30		
	HS - 0AR% ₀₃	10.00	78.59	181.00	18100	230.30		
250	HS - 0AR% ₀₄	10.01	78.64	192.00	19200	244.14	242.02	3.73%
	HS - 0AR% ₀₅	10.01	78.70	190.00	19000	241.43		
	HS - 0AR% ₀₆	10.00	78.59	189.00	18900	240.48		
400	HS - 0AR% ₀₇	10.01	78.64	145.00	14500	184.37	192.38	23.47%
	HS - 0AR% ₀₈	10.01	78.64	158.00	15800	200.90		
	HS - 0AR% ₀₉	10.01	78.70	151.00	15100	191.88		
600	HS - 0AR% ₁₀	10.01	78.64	81.00	8100	103.00	142.78	43.20%
	HS - 0AR% ₁₁	10.01	78.64	161.00	16100	204.72		
	HS - 0AR% ₁₂	10.01	78.75	95.00	9500	120.64		
800	HS - 0AR% ₁₃	10.02	78.80	93.00	9300	118.02	96.01	61.81%
	HS - 0AR% ₁₄	10.02	78.91	59.00	5900	74.77		
	HS - 0AR% ₁₅	10.01	78.75	75.00	7500	95.24		

Tabla 50. Resistencia a compresión de los cilindros (HS-0AR%) después de exponerse al fuego
Fuente: Byron Javier Quishpe Toapanta

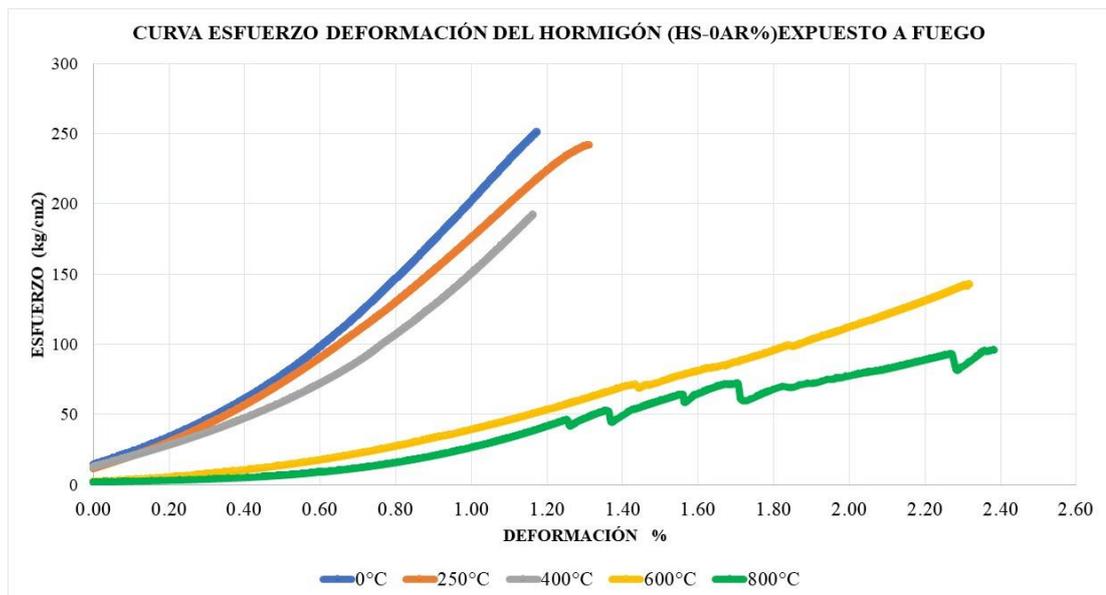


Figura 20. Curva esfuerzo deformación del hormigón (HS-0AR%) después exponerse al fuego
Fuente: Byron Javier Quishpe Toapanta

Análisis: Se puede apreciar una disminución de resistencia según el aumento de temperatura. Existe una caída drástica comparando entre el hormigón expuesto a 0°C y 800°C, además de una pérdida de resistencia de más del 61% según lo mencionado

en la tabla 50. Por otro lado, se puede observar una deformación mucho más prolongada cuando se eleva a temperaturas superiores a los 400°C.

➤ **Resistencia a compresión de los cilindros HS-15AR%**

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO		FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA		CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL				
INFLUENCIA DEL FUEGO EN LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN ELABORADO A PARTIR DE MATERIAL RECICLADO		ORIGEN: Laboratorio FICM		NORMA: NTE INEN 804 - NTE INEN 1579 - ASTM C138				
ENSAYADO POR: Byron Quishpe		FECHA: 13/6/2023		RESISTENCIA A COMPRESIÓN DE LOS CILINDROS (HS-15AR%) DESPUÉS DE SER EXPUESTOS A FUEGO				
EDAD:	28 días	RESISTENCIA:	240 kg/cm ²	RANGO DE F°C (240kg/cm ²):	(228 a 252)kg/cm ²			
Temp. Expuesta	Muestra	Diámetro	Area	Carga (P)	Carga (P)	Esf. Compresión	Esf. Compresión Promedio	PERDIDA RESISTENCIA
		cm	cm ²	KN	Kg	kg/cm ²	kg/cm ²	
0	HS - 15AR% ₀₁	10.00	78.59	193.00	19300	245.57	246.97	0%
	HS - 15AR% ₀₂	10.00	78.49	192.00	19200	244.63		
	HS - 15AR% ₀₃	9.90	76.98	193.00	19300	250.72		
250	HS - 15AR% ₀₄	10.00	78.49	181.00	18100	230.61	226.36	9.96%
	HS - 15AR% ₀₅	10.00	78.49	177.00	17700	225.51		
	HS - 15AR% ₀₆	10.00	78.49	175.00	17500	222.97		
400	HS - 15AR% ₀₇	10.00	78.54	196.00	19600	249.55	224.56	10.67%
	HS - 15AR% ₀₈	10.00	78.54	167.00	16700	212.63		
	HS - 15AR% ₀₉	10.00	78.49	166.00	16600	211.50		
600	HS - 15AR% ₁₀	10.07	79.59	130.00	13000	163.34	157.03	37.54%
	HS - 15AR% ₁₁	10.00	78.59	137.00	13700	174.32		
	HS - 15AR% ₁₂	10.01	78.70	105.00	10500	133.42		
800	HS - 15AR% ₁₃	10.03	79.01	95.00	9500	120.24	92.33	63.27%
	HS - 15AR% ₁₄	10.03	79.01	48.00	4800	60.75		
	HS - 15AR% ₁₅	10.04	79.17	76.00	7600	96.00		

Tabla 51. Resistencia a compresión de los cilindros (HS-15AR%) después de exponerse al fuego
Fuente: Byron Javier Quishpe Toapanta

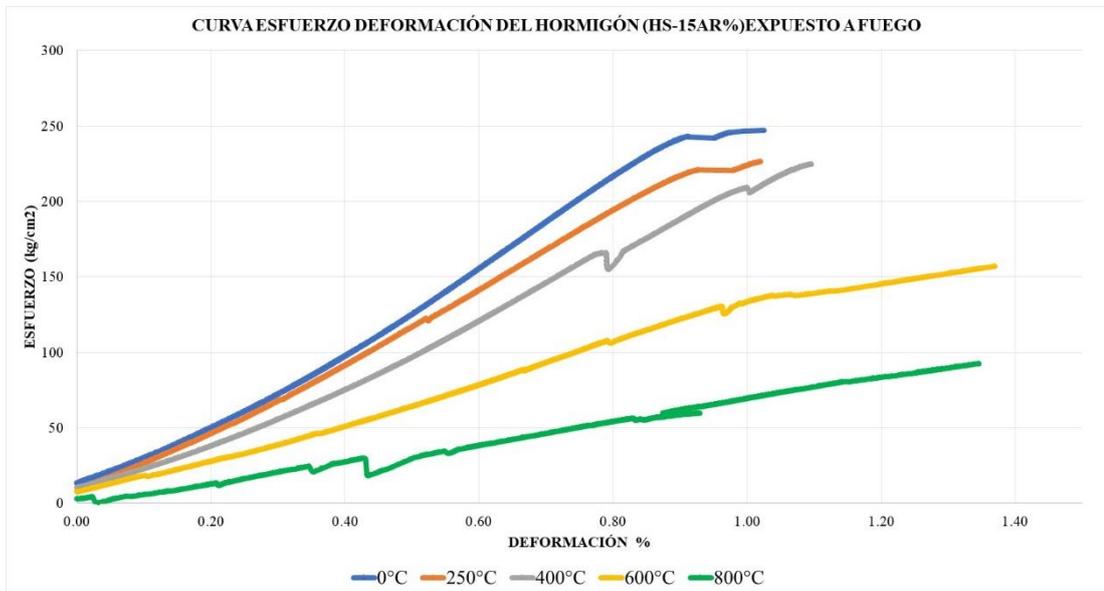


Figura 21. Curva esfuerzo deformación del hormigón (HS-15AR%) después de exponerse al fuego
Fuente: Byron Javier Quishpe Toapanta

Análisis: De la misma forma que el HS-0AR% se observa resultados muy similares, una disminución de resistencia según crece la temperatura de exposición. Existe una caída drástica comparando entre el hormigón expuesto a 0°C y 800°C, además de una pérdida de resistencia de más del 63% según lo mencionado en la tabla 51.

➤ **Resistencia a compresión de los cilindros HS-30AR%**

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO		FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA		CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL				
INFLUENCIA DEL FUEGO EN LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN ELABORADO A PARTIR DE MATERIAL RECICLADO								
ORIGEN:		Laboratorio FICM		NORMA:		NTE INEN 804 - NTE INEN 1579 - ASTM C138		
ENSAYADO POR:		Byron Quishpe		FECHA:		14/6/2023		
RESISTENCIA A COMPRESIÓN DE LOS CILINDROS (HS-30AR%) DESPUÉS DE SER EXPUESTOS A FUEGO								
EDAD:		28 días		RESISTENCIA:		240 kg/cm ²		
				RANGO DE F°C (240kg/cm ²):		(228 a 252)kg/cm ²		
Temp. Expuesta	Muestra	Diámetro	Area	Carga (P)		Esf. Compresión	Esf. Compresión Promedio	PERDIDA RESISTENCIA
				KN	Kg			
°C		cm	cm ²			kg/cm ²		
0	HS - 30AR% ₀₁	10.00	78.59	180.00	18000	229.03	231.61	0%
	HS - 30AR% ₀₂	10.00	78.49	179.00	17900	228.06		
	HS - 30AR% ₀₃	9.90	76.98	183.00	18300	237.73		
250	HS - 30AR% ₀₄	10.00	78.49	180.00	18000	229.34	228.06	9.28%
	HS - 30AR% ₀₅	10.00	78.49	184.00	18400	234.43		
	HS - 30AR% ₀₆	10.00	78.49	173.00	17300	220.42		
400	HS - 30AR% ₀₇	10.00	78.54	173.00	17300	220.27	215.65	14.22%
	HS - 30AR% ₀₈	10.00	78.54	163.00	16300	207.54		
	HS - 30AR% ₀₉	10.00	78.49	172.00	17200	219.14		
600	HS - 30AR% ₁₀	10.07	79.59	35.00	3500	43.98	113.60	54.81%
	HS - 30AR% ₁₁	10.00	78.59	144.00	14400	183.22		
	HS - 30AR% ₁₂	Explovió (No se pudo realizar ensayo)						
800	HS - 30AR% ₁₃	10.03	79.01	32.00	3200	40.50	36.25	85.58%
	HS - 30AR% ₁₄	10.03	79.01	19.00	1900	24.05		
	HS - 30AR% ₁₅	10.04	79.17	35.00	3500	44.21		

Tabla 52. Resistencia a compresión de los cilindros (HS-30AR%) después de exponerse al fuego

Fuente: Byron Javier Quishpe Toapanta

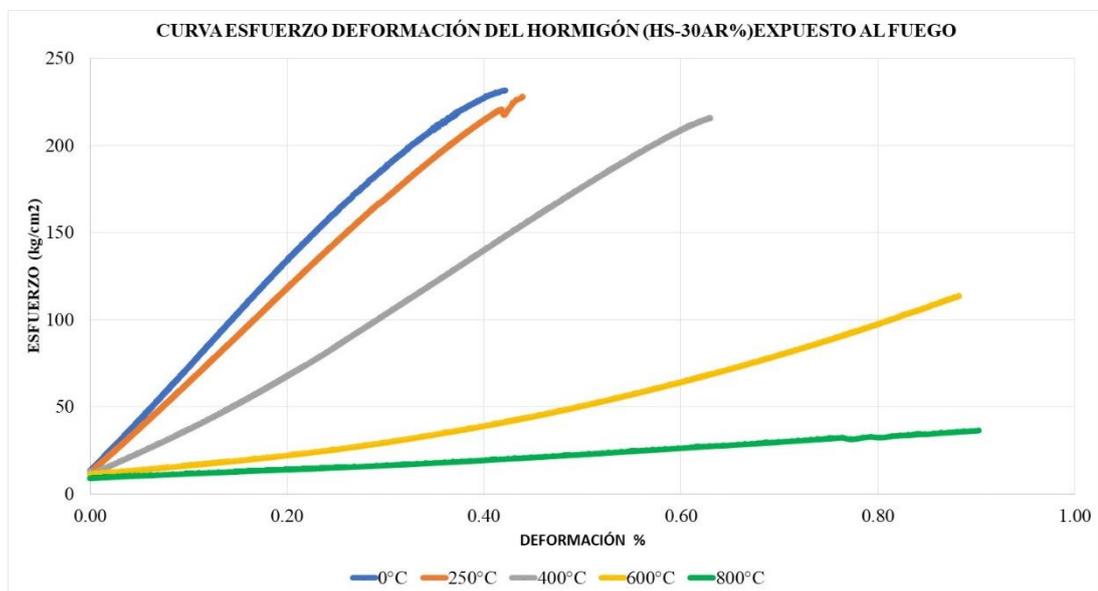


Figura 22. Curva esfuerzo deformación del hormigón (HS-30AR%) después de exponerse al fuego

Fuente: Byron Javier Quishpe Toapanta

Análisis: En este caso se observa una disminución de resistencia según el aumento de temperatura mucho más notable. Las curvas marcan una resistencia inferior a lo establecido y una deformación mucho más prolongada. A los 800°C, el hormigón ya no tiene resistencia por lo que simplemente se deforma. Esto se puede afirmar claramente en la tabla 52, donde el hormigón ha perdido más del 85% de resistencia.

➤ **Resumen de resistencias según el %AR y la temperatura**

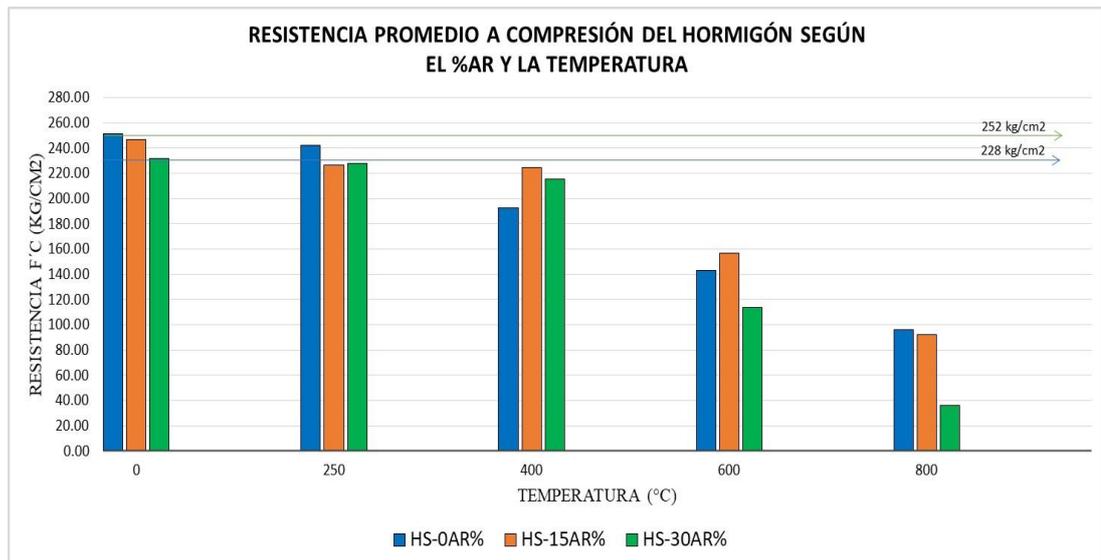


Figura 23. Resumen de la resistencia a compresión del hormigón según el AR y la temperatura

Fuente: Byron Javier Quishpe Toapanta

Análisis: En resumen, los resultados demuestran que existe una reducción casi proporcional de la resistencia a medida que aumenta el porcentaje de AR y la temperatura. Sin embargo, se puede apreciar que entre el HS-0AR% y el HS-15AR% no existe mucha diferencia de pérdida, inclusive a temperaturas bajas como 400°C puede el hormigón con 15% de AR resistir más que el hormigón convencional.

3.1.4.1 Curva Resistencia vs Temperatura del hormigón

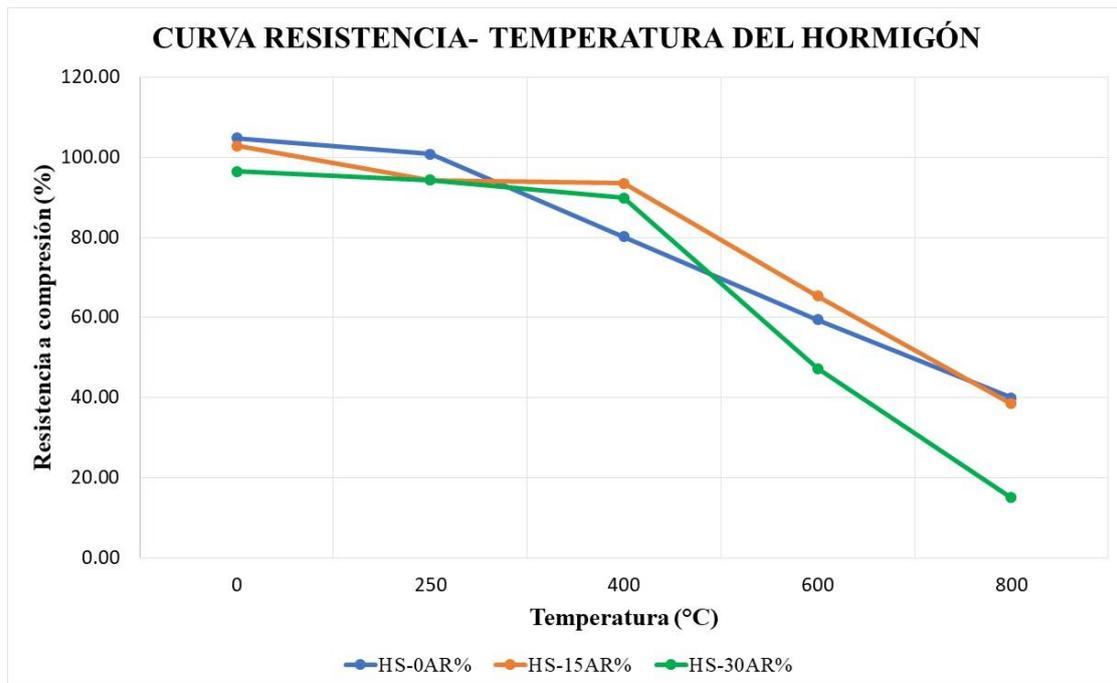


Figura 24. Curva temperatura – resistencia del hormigón

Fuente: Byron Javier Quishpe Toapanta

Análisis: La siguiente curva representa una visualización más clara sobre el comportamiento del material, en este caso se observa como la temperatura influye en la resistencia a compresión de hormigones reciclados, para lo cual podemos afirmar como primer punto que existe una caída de resistencia en cuanto se eleva la temperatura y se añade el material reciclado. Posterior, la pérdida de resistencia del hormigón sin sustitución (HS-0AR%) es casi proporcional en cuanto aumenta la temperatura. Por otro lado, los hormigones con sustitución de AR mantienen una resistencia más alta que el hormigón convencional a temperaturas bajas (400°C), sin embargo, cuando se eleva la temperatura se observa una caída drástica de resistencia casi nula para el hormigón con 30%AR mientras que para el 15%AR decae al mismo nivel que del hormigón sin sustitución, esto quiere decir que existe un comportamiento apto tanto en resistencia a compresión como a temperaturas bajas del hormigón con 15% de material reciclado.

3.1.5 Discusión de los resultados

Como primer punto, el uso de materiales reciclados produce una afectación en el hormigón respecto a su densidad, pues a mayor contenido de agregado reciclado existe una reducción del peso específico criterio compartido con C. Zega y A. Maio. [46]. En la presente investigación existió una reducción del 1.95% para 15% de AR con respecto al hormigón normal, y del 3.25% para 30% de AR. En un estudio publicado recientemente por L. Mayorga [25] se evidenció una reducción del 4.34% para 15% de AR y 5.72% para 30% de AR, se asume que los resultados pueden variar en parte a los materiales utilizados, el diseño de la mezcla, los equipos, entre otros.

Por otro lado, se ha obtenido una relación entre las temperaturas superficiales conseguidas en los cilindros de hormigón y los cambios físicos producidos. Por lo que de la observación visual se comprobó cambios de color del hormigón de gris natural (tonalidad del hormigón sin exposición al fuego) a rosado cuando se expuso a los 600°C y en el intervalo de los 800°C, la coloración cambió a gris ceniza con ciertas zonas de color amarillentos. Las tonalidades adquiridas y los rangos de temperatura obtenidos son altamente congruentes con los previamente descritos en la literatura. [47]. Además, se ha verificado que la pérdida de material por desconchado es un atributo que el material experimenta al ser sometido a un aumento de temperatura, por la cual, estas tienen una mayor aparición debido a la adición de material reciclado, criterio compartido con F. Bruno y otros en su investigación [48].

Durante la exposición al fuego se notó una aparición de desconchado mucho más severo en aquellos hormigones con mayor contenido de agregado reciclado, deduciendo así, que existe un riesgo eminente por explosión debido a la presión generada por la deshidratación del gel del cemento en el interior del cilindro, criterio reflejado también en otras investigaciones por [48], [49].

Los resultados de la densidad del hormigón antes y después de exponerse al fuego, son muy similares a los de M. Salau y otros en su estudio [50], aquí los autores obtienen los datos de inicio y final del peso y densidad de las muestras de hormigón. Para el presente trabajo experimental se notó una pérdida de peso debido a la porosidad ocasionada por la pérdida de humedad en aquellos cilindros con mayor contenido de AR, criterio compartido con H. Xargay en su investigación denominada “Degradación del hormigón frente a altas temperaturas” [51].

Según una investigación realizada por H. Zhao, Y. Wang y F. Liu [52], la resistencia a compresión a una temperatura 800°C para reemplazo parcial del 30% de AR, se reduce en un promedio del 82%. En el estudio propuesto se obtuvo un porcentaje de reducción del 86%. Pues tal como menciona A. Cuyán y otros [53], para un concreto de resistencia normal, la reducción de las propiedades mecánicas se produce de forma gradual con el aumento de temperatura, ya que la misma idea afirman J. Gales, T. Parker, D. Cree y M. Green en [54] donde sus resultados muestran una disminución de f_c con el aumento del contenido de AR a una temperatura elevada.

Zega y Di Maio [55], en sus resultados del sometimiento a fuego durante 1h de elementos de hormigón a 500°C, existió una disminución en la resistencia alrededor del 10% para concretos con AR y alrededor del 22% para concretos normales, por lo que en el presente estudio se obtuvo a los 400°C una disminución del 23% del hormigón con 0AR% y del 10% y 14% de los hormigones con 15AR% y 30AR% respectivamente.

Además, en cuanto a los resultados de la curva resistencia - temperatura se puede observar valores muy similares a los del estudio [56], pues en él, porcentajes de árido reciclado del 30% a temperaturas bajas no existe una caída brusca de resistencia, por lo que para el presente estudio se presenta el mismo comportamiento para las muestras con 15% y 30% de material reciclado. Así mismo en los resultados de deformación se presenta un pico más alto en aquellos que se someten a elevadas temperaturas, similar al estudio [54] que reemplazó 30% y 100% exponiéndolos a 500°C.

3.2 Verificación de Hipótesis

¿La resistencia a compresión del concreto elaborado con sustitución del agregado natural por el agregado reciclado se ve afectado por la exposición al fuego?

A través del siguiente trabajo experimental, sobre la fabricación del 45 cilindros de hormigón con porcentajes de material reciclado y posterior a ello sometido a intervalos diferentes de temperatura durante un tiempo determinado, se comprobó y verificó que el fuego si influye en la resistencia a compresión del concreto elaborado con sustitución del agregado natural por el agregado reciclado, dando valores diferentes de $f'c$, pues a mayor contenido de AR e incremento de temperatura tiende a disminuir la resistencia a compresión del hormigón, dando pérdidas de 61%, 63% y 85% de resistencia con porcentajes del 0%, 15% y 30% de AR respectivamente a una temperatura de quemado $\geq 800^{\circ}\text{C}$.

CAPITULO IV.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 CONCLUSIONES

- ❖ Se obtuvieron las propiedades de los materiales como la grava, arena, cemento y agregado reciclado a través de ensayos de laboratorio, los cuales fueron granulometría, densidad aparente, densidad real, densidad suelta y compactada, capacidad de absorción, contenido de humedad, entre otros. Todos estos bajo especificaciones de la norma NTE INEN y ASTM, cuyos resultados fueron esenciales para la fabricación de los cilindros de hormigón y conocer el comportamiento del material reciclado.
- ❖ Se realizó un total de 45 especímenes de hormigón con porcentajes de sustitución del agregado grueso natural por el agregado grueso reciclado del 0%,15% y 30% para una resistencia de 240kg/cm² a los 28 días de edad. Además, antes de ello se preparó tres muestras de cilindros de base para la verificación de resistencia a los 7 días de curado, obteniendo resultados satisfactorios que rebasan el 70% de resistencia que dicta la norma según la edad. El método utilizado para el cálculo de la dosificación fue el método de la densidad optima propuesta por la Universidad Central del Ecuador.
- ❖ Los resultados obtenidos en la etapa de quemado, fueron en la variación del peso, y densidad de las muestras antes y después de la exposición al fuego, daños presentes en los especímenes y la comparación entre estos, mismas que se encuentran en tablas y gráficas expuestas en el capítulo III. Cada una de las probetas presentaron anomalías diferentes en relación con el aumento de temperatura, siendo más perjudicables aquellas con un alto porcentaje de AR. Los resultados de esta prueba fueron constatados según varias investigaciones que de la misma manera tienen estudios respecto al análisis con fuego.
- ❖ Se determinó las pruebas de resistencia a compresión de los especímenes de hormigón una vez que haya pasado las 24 horas luego de haberse sometido a fuego. Los resultados expresaron una serie de variaciones de cada muestra de hormigón, donde mediante un promedio de resultados se pudo obtener un comportamiento definido del material, pues es claro evidenciar que la resistencia ultima de los cilindros fueron afectados por cada intervalo de temperatura, obteniendo así pérdidas de resistencia para el hormigón simple con 30AR% superiores que del hormigón con 0% y 15% de AR. Además, se

pudo observar que a temperaturas bajas el hormigón normal muestra resistencias inferiores a comparación con las de sustitución del 15% y 30% de AR.

- ❖ Se determinó que existe una serie de daños ocasionado en el hormigón después de exponer al fuego, entre los cuales la aparición de fisuras, agrietamientos, desprendimientos y por último el desconchado o spalling, este último se presentó de manera violenta debido a la presión generada en el interior del cilindro. Es por ello que los daños en el hormigón van en aumento según el porcentaje de sustitución de AR, es decir, el hormigón con porcentaje del 0% y 15% mostraron desconchado de al menos el 40% de volumen mientras que con porcentajes del 30% se produjo una explosión de todo el espécimen imposibilitando así el ensayo a compresión.
- ❖ A través de la curva esfuerzo deformación de cada una de las probetas cilíndricas de hormigón ensayadas a los 28 días de edad diseñadas para una resistencia de 240 kg/cm² se pudo deducir que existe un comportamiento similar en todas las muestras, pues es claro aclarar que la resistencia disminuye con el aumento de temperatura. Por otro lado, la deformación también muestra un comportamiento singular, pues a mayor contenido de AR el cilindro se deforma menos cuando se encuentra a elevadas temperaturas.
- ❖ Mediante la curva temperatura-resistencia se pudo visualizar el comportamiento del material, siendo así que el hormigón normal tiende a disminuir de manera lineal conforme aumente la temperatura, obteniendo pérdidas de resistencia que va del 3.73%, 23.47%, 43.20% hasta el 61.81%. Por otro lado, el hormigón con árido reciclado no presenta una disminución de resistencia drástica cuando se eleva hasta los 400°C, por lo que se puede afirmar que existe un buen comportamiento hasta dicha temperatura, sin embargo, después de ello la resistencia cae bruscamente cuando la temperatura sobrepasa los 400°C hasta los 800°C, dando pérdidas de resistencia del 63% y 85%.
- ❖ Se comprobó que es factible la utilización de hormigones reciclados con porcentaje de sustitución del 15%, pues es claro afirmar que no solo alcanza la resistencia esperada si no tiene un buen comportamiento frente al fuego cuando se exponga a temperaturas inferiores a los 400°C, por otro lado, diseñar

hormigones con alto porcentaje de AR, perjudicaría en su resistencia a compresión lo que a su vez corre un riesgo eminente por desconchado durante un escenario de incendio cuando alcance temperaturas superiores a los 400°C.

4.2 RECOMENDACIONES

- ❖ Se sugiere a los laboratorios de Ingeniería Civil contar con el equipo adecuado para la trituración de agregados, con la finalidad de poder profundizar en el tema de los agregados triturados de origen reciclado y así incentivar la idea de sostenibilidad. Así mismo, contar con equipos para realizar la exposición al fuego de probetas cilíndricas cuando se encuentre con una carga aplicada, para que de esta manera se pueda obtener resultados que permitan ampliar y conocer más sobre el tema del fuego en las estructuras.
- ❖ Se sugiere a los fiscalizadores de cada uno de los municipios o GAD parroquiales aplicar un plan o programa de clasificación de los desechos producidos en la construcción, con la finalidad de poder separar y obtener nuevos materiales específicos para la fabricación de hormigones reciclados.
- ❖ Se sugiere a la comunidad universitaria que para la complementación de trabajo experimental se realice el ensayo de hormigón al fuego, con un tipo de horno diferente (horno industrial) que sea capaz de alcanzar temperaturas elevadas que se puedan controlar para así realizar una comparación de resultados.
- ❖ Se recomienda a la comunidad universitaria realizar charlas o programas que incentiven conocer el estudio de la exposición al fuego de las estructuras, debido a que es un tema amplio y muy importante que puede ayudar a comprender cómo se comportan los materiales durante un escenario de incendio.
- ❖ Se sugiere a la comunidad universitaria que para la complementación del trabajo experimental se realicen estudios sobre la exposición al fuego de vigas usando material reciclado, con la finalidad de poder conocer cómo se comporta el material cuando se encuentra sometido a flexión después de haber pasado la etapa de quemado.

- ❖ Se sugiere a la comunidad universitaria realizar estudios en cuanto a la afectación del agrado reciclado como reemplazo parcial del agregado fino, para complementar el trabajo de investigación referente a los hormigones reciclados.
- ❖ Se recomienda antes de ejecutar la etapa de quemado de las probetas, tratar de que estas se encuentren con el menor contenido de humedad posible, para ello se debe realizar un secado de 1 o 2 días de anticipación, esto con la finalidad de que el agua superficial no afecte en el proceso exposición al fuego.
- ❖ Se sugiere realizar la medición del contenido de humedad de los agregados finos y gruesos un día antes de preparar la mezcla de concreto. Esto permitirá tener en cuenta el estado en el que se encuentran dichos agregados al calcular las proporciones adecuadas, para que así se pueda realizar la eliminación necesaria en la cantidad de agua al utilizar en la mezcla.
- ❖ Se recomienda tener cuidado con la exposición al fuego del hormigón, puesto que, estos pueden reaccionar de una manera violenta cuando se expone a altas temperaturas. Así también, revisar cualquier equipo o instrumento antes de su utilización, con la finalidad de evitar inconvenientes o tragedias por parte de malas maniobras o manipulaciones inadecuadas.
- ❖ Se recomienda utilizar el equipo de protección adecuada, como el uso de guantes, gafas, calzada y overoles al momento de realizar estudios con el fuego, puesto que, existe el riesgo de quemaduras en cualquier parte del cuerpo.
- ❖ Se recomienda realizar la exposición al fuego de los cilindros en un espacio abierto, con la finalidad de evitar el riesgo de intoxicación o de explosiones por parte de los cilindros de gas.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] L. Alberto, R. Wilfredo, S. Ángel, J. Elmer, y V. Cesar, «8 EFFECT OF THE USE OF RECYCLED GLASS ON CONCRETE DESIGN», *Revista Universidad y Sociedad*, vol. 14, n.º 1, pp. 179-192, 2022.
- [2] J. A. García y F. A. P. Varón, «Neural network-based model to predict compressive strength of concrete incorporating supplementary cementitious materials and recycled aggregates», *Revista Materia*, vol. 27, n.º 2, 2022, doi: 10.1590/s1517-707620220002.1318.
- [3] M. Malešev, V. Radonjanin, y S. Marinković, «Recycled concrete as aggregate for structural concrete production», *Sustainability*, vol. 2, n.º 5, pp. 1204-1225, 2010, doi: 10.3390/su2051204.
- [4] A. Mardani-Aghabaglou, M. Tuyan, y K. Ramyar, «Transportation Applications Of Recycled Concrete Aggregate», *Materials and Structures/Materiaux et Constructions*, vol. 48, n.º 8, pp. 1-47, ago. 2004, doi: 10.1617/s11527-014-0342-3.
- [5] M. Surya, P. Lakshmy, y V. V. L. K. Rao, «Bond behaviour of recycled aggregate concrete», en *Lecture Notes in Civil Engineering*, Springer, 2019, pp. 971-983. doi: 10.1007/978-981-13-0362-3_77.
- [6] J. A. Ortiz, A. de la Fuente, F. Mena Sebastia, I. Segura, y A. Aguado, «Steel-fibre-reinforced self-compacting concrete with 100% recycled mixed aggregates suitable for structural applications», *Constr Build Mater*, vol. 156, pp. 230-241, dic. 2017, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2017.08.188.
- [7] A. Rea y C. Hermida, «Plan de gestión de residuos generados en construcciones de vivienda multifamiliar en el Ecuador», *Universidad de Cuenca*, pp. 1-81, 2017.
- [8] D. M. Dias, J. L. Calmon, y G. L. Vieira, «Polymeric fiber reinforced concrete exposed to fire», *Revista ALCONPAT*, vol. 10, n.º 1, pp. 36-52, dic. 2019, doi: 10.21041/ra.v10i1.426.
- [9] N. Hernandez, «Efecto del fuego sobre la resistencia a compresión de un elemento de concreto de resistencia de diseño de 210 kg/cm²», *Revista INGENIERÍA UC*, vol. 17, n.º 2, pp. 1-7, may 2010.
- [10] R. G. Pereira, T. A. C. Pires, D. Duarte, y J. J. Rêgo Silva, «Avaliação da resistência mecânica de vigas em concreto armado após o incêndio», *Revista ALCONPAT*, vol. 9, n.º 1, pp. 93-105, dic. 2018, doi: 10.21041/ra.v9i1.299.
- [11] EL COMERCIO, «Incendios estructurales ocasionados en Ecuador en el 2021.», 2021. <https://www.elcomercio.com/actualidad/quito/bomberos->

incendioestructural-carcelen-bodega.html#:~:text=Redacci%C3%B3n%20Elcomercio.com,Un%20incendio%20estructural%20se%20registr%C3%B3%20en%20el%20sector (accedido 18 de abril de 2023).

- [12] E. Autor, L. Vizcaino, B. Alexander, P. Pachucho, y C. Fabián, «Análisis de los protocolos de evacuación ante la presencia de incendios estructurales en Ecuador», Quito , may 2022.
- [13] R. Namdev, D. Moya, y I. F. Villalba, «Evaluación de riesgos de incendio para edificios de viviendas en propiedad horizontal en el DMQ usándose el programa computacional del método F.R.A.M.E.», Quito , 2011.
- [14] A. . Neville y Abraham. Zabludovsky, *Tecnología del concreto*. Mexico : Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, 2000.
- [15] G. Morales, A. Campos, y A. Faganello, «A Ação do fogo sobre os componentes do concreto», *Semina: Ciências Exatas e Tecnológicas*, vol. 32, n.º 1, pp. 47-55, jun. 2011, doi: 10.5433/1679-0375.2011v32n1p47.
- [16] B. Castro Montoya, D. V. Asesora, D. S. Nunura, y G. Del Socorro, «Comportamiento del concreto a altas temperaturas con material reciclado: polvo de caucho y vidrio sódico cálcico», Pimentel - Perú, 2019.
- [17] S. De Los Santos Miranda, «Desarrollo de hormigones resistentes al fuego con áridos reciclados procedentes de una planta de residuos de construcción», Sevilla , 2020.
- [18] CDC, «Desarrollan morteros con materiales reciclados y resistentes al fuego», *Corporación de Desarrollo Tecnológico*, 29 de abril de 2021. <https://www.cdt.cl/desarrollan-morteros-con-materiales-reciclados-y-resistentes-al-fuego/> (accedido 18 de abril de 2023).
- [19] J. Trinidad *et al.*, «Estudio del comportamiento del concreto sometido a alta temperatura», *COMUNICACIONES*, n.º 726, p. 78, 2023.
- [20] C. Zega, «Comportamiento físico-mecánico de hormigones reciclados elaborados con canto rodado», nov. 2006. [En línea]. Disponible en: <https://www.researchgate.net/publication/28161289>
- [21] J. Toscano, «Evaluación del efecto de altas temperaturas en la resistencia a compresión y flexión de un hormigón polimérico», Quito , 2021.
- [22] C. Contreras, «CONCRETO CON ÁRIDOS RECICLADOS: adaptación de esta tecnología, alcanzando por lo menos 210kg/cm² de resistencia a la compresión», Universidad de Cuenca , Cuenca , 2012.

- [23] E. Jonathan, C. Guerra, G. Adriana, y L. Carrera, «ESTUDIO COMPARATIVO DE ELEMENTOS FABRICADOS DE HORMIGÓN CON MATERIAL RECICLADO PET (POLIETILENO TERFTALATO) Y DE HORMIGÓN CONVENCIONAL», Quito, jul. 2012.
- [24] G. Alvarado y M. Ureña, «ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO DEL CONCRETO ESTRUCTURAL EXPUESTO AL FUEGO.», Universidad Técnica de Ambato , Ambato , 2016.
- [25] L. Mayorga y L. Pañefiel, «RESISTENCIA A COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN PREPARADO A PARTIR DE MATERIALES RECICLADOS», Universidad Técnica de Ambato , Ambato , 2023.
- [26] C. J. Zega y A. A. Di Maio, «HORMIGONES RECICLADOS: CARACTERIZACION DE LOS AGREGADOS GRUESOS RECICLADOS», sep. 2008.
- [27] A. Arias y R. Zambrano, «PROPIEDADES FÍSICO – MECÁNICAS DEL HORMIGÓN ELABORADO CON ÁRIDOS RECICLADOS», UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR, Quito , 2017.
- [28] J. Tertré y A. Moreno, «Hormigón con árido reciclado», 2015.
- [29] C. Figueroa y S. López, «EVALUACIÓN Y DIAGNÓSTICO DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN Y A FLEXIÓN DEL CONCRETO SIMPLE DESPUÉS DE EXPUESTO A 450°C.», Bogota , 2018.
- [30] N. Hernandez, «Efecto del fuego sobre la resistencia a compresion de un elemento de concreto de resistencia de diseno de 210 kg ~ /cm²», *Revista INGENIERÍA UC*, vol. 17, n.º 2, p. 7, ago. 2010.
- [31] «Efectos del fuego sobre el concreto », *360 EN CONCRETO* . <https://360enconcreto.com/blog/detalle/efectos-del-fuego-sobre-el-concreto-2/> (accedido 25 de mayo de 2023).
- [32] NTEN INEN 856, «Áridos. Determinación de la densidad, densidad relativa (gravedad específica) y absorción del árido fino», Instituto Ecuatoriano de Normalización , Quito , Quito, 1, 2010.
- [33] ASTM C29 /C29 M - 97, «Método de Ensayo Normalizado para determinar la densidad aparente ("peso unitario") e Índice de huecos en los Áridos», septiembre de 1997
- [34] Holcim, «Cemento hidráulico Tipo GU para la construcción en general.», Ecuador , 2007.

- [35] C. Reinoso y F. Portilla, «Análisis comparativo de la resistencia a compresión en adoquines de hormigón estructural y hormigón permeable reforzado con fibras de polipropileno», UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO, Ambato , 2023.
- [36] «Pirómetro de radiación », *INDUSTRIAS GSL* , 27 de enero de 2022. <https://n9.cl/zvgt4> (accedido 19 de mayo de 2023).
- [37] J. Cano, «MANUAL PARA ENSAYOS DE COMPRESION A CONCRETOS», Universidad Cooperativa De Colombia, Villavicencio, 2022.
- [38] A. Quingaluisa y W. Benavides, «Determinación del módulo de rotura y deflexiones en vigas de hormigón, en base a su resistencia a la compresión ($f_c = 24\text{Mpa}$)», UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR, Quito, 2014.
- [39] M. Jorge, «Determinación de la densidad nominal y la densidad aparente para agregados», *Ingeniería Civil* , 7 de octubre de 2008.
- [40] NTE INEN 858, «Áridos. Determinación de la masa unitaria (peso volumétrico) y el porcentaje de vacíos.», Instituto Ecuatoriano de Normalización, Quito , 2010.
- [41] P. Flores y W. Medina, «Análisis del módulo de elasticidad estático del hormigón estructural en base a su resistencia a la compresión, fabricado con materiales de las minas trópico de Capricornio y Santa Isabel», UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO, Ambato , 2020.
- [42] F. B. Varona, F. J. Baeza, y S. Ivorra, «Estudio de las propiedades mecánicas residuales de hormigones expuestos a altas temperaturas», *Hormigón y Acero*, vol. 69, n.º 286, pp. 235-241, sep. 2018, doi: 10.1016/j.hya.2017.04.004.
- [43] S. García, «ENSAYOS DE COMPORTAMIENTO AL FUEGO», 1996.
- [44] NTE INEN 1 573, «Hormigón de cemento hidráulico. Determinación de la resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos de hormigón de cemento hidráulico», INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN , Quito , 2010.
- [45] V. W. Y. Tam, X. F. Gao, C. M. Tam, y C. H. Chan, «New approach in measuring water absorption of recycled aggregates», *Constr Build Mater*, vol. 22, n.º 3, pp. 364-369, mar. 2008, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2006.08.009.
- [46] C. Zega y A. A. Maio, «Efecto del agregado grueso reciclado sobre las propiedades del hormigón», *Boletín Técnico*, vol. 45, pp. 1-60, jul. 2007, [En línea]. Disponible en: www.imcyc.com

- [47] D. Guzman, *Durabilidad y Patología del Concreto*, Primera., vol. 6. Bogotá-Colombia , 2017.
- [48] B. Fernandez, H. Carre, C. Perlo, y C. La, «Comportamiento al desconchado del hormigón elaborado con áridos de hormigón reciclado», *Construcción y Materiales de Construcción* , vol. 344, ago. 2022.
- [49] P. Pliya, D. Cree, H. Hajiloo, A. L. Beaucour, M. F. Green, y A. Noumowé, «High-Strength Concrete Containing Recycled Coarse Aggregate Subjected to Elevated Temperatures», *Fire Technol*, vol. 55, n.º 5, pp. 1477-1494, sep. 2019, doi: 10.1007/s10694-019-00820-0.
- [50] M. A. Salau, O. J. Oseafiana, y T. O. Oyegoke, «Effects of elevated temperature on concrete with Recycled Coarse Aggregates», en *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, Institute of Physics Publishing, nov. 2015. doi: 10.1088/1757-899X/96/1/012078.
- [51] H. Xargay *et al.*, «DEGRADACIÓN DEL HORMIGÓN FRENTE A ALTAS TEMPERATURAS», Buenos Aires, 2016.
- [52] H. Zhao, Y. Wang, y F. Liu, «Stress-strain relationship of coarse RCA concrete exposed to elevated temperatures», *Magazine of Concrete Research*, vol. 69, n.º 13, pp. 649-664, jul. 2017, doi: 10.1680/jmacr.16.00333.
- [53] A. E. Cuyán Barboza, J. Leoncio, M. Monja, y S. Pedro Muñoz Pérez, «Comportamiento Térmico y Estructural del Concreto Expuesto a Altas Temperaturas: Una Revisión de la Thermal and Structural Behaviour of Concrete Exposed To High Temperatures: A Review of the Literature», n.º 16, pp. 78-93, 2021, doi: 10.31095/investigatio.
- [54] J. Gales, T. Parker, D. Cree, y M. Green, «Fire Performance of Sustainable Recycled Concrete Aggregates: Mechanical Properties at Elevated Temperatures and Current Research Needs», *Fire Technol*, vol. 52, n.º 3, pp. 817-845, may 2016, doi: 10.1007/s10694-015-0504-z.
- [55] C. J. Zega y A. A. Di Maio, «Recycled concrete made with different natural coarse aggregates exposed to high temperature», *Constr Build Mater*, vol. 23, n.º 5, pp. 2047-2052, may 2009, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2008.08.017.
- [56] J. Z. Xiao y C. Z. Zhang, «Fire Damage and Residual Strengths of Recycled Aggregate Concrete», *Key Eng Mater*, vol. 348-349, pp. 937-940, sep. 2007, doi: 10.4028/www.scientific.net/kem.348-349.937.

ANEXOS

Fotografía 1	Fotografía 2
	
<p>Descripción: Obtención de los materiales, agregado fino y grueso de la mina Las Viñas-Ambato</p>	<p>Descripción: Obtención del material reciclado proveniente de la demolición de aceras y bordillos de la ciudad de Ambato.</p>
Fotografía 3	Fotografía 4
	
<p>Descripción: Máquina trituradora de material, transportada mediante una banda</p>	<p>Descripción: Obtención del material triturado a través de lonas, con la finalidad de no mezclar el material.</p>

<p align="center">Fotografía 5</p>	<p align="center">Fotografía 6</p>
	
<p>Descripción: Obtención del material reciclado, transportada a los laboratorios de la FICM</p>	<p>Descripción: Adquisición de tamices para el ensayo de granulometría de agregado grueso.</p>
<p align="center">Fotografía 7</p>	<p align="center">Fotografía 8</p>
	
<p>Descripción: Adquisición de tamices para el ensayo de granulometría del agregado fino</p>	<p>Descripción: Ensayo de densidad aparente suelta de los agregados grueso y fino</p>

Fotografía 9	Fotografía 10
	
<p>Descripción: Ensayo de densidad aparente compactada de los agregados grueso y fino</p>	<p>Descripción: Ensayo de densidad aparente suelta y compactada de la mezcla usando los materiales respectivos.</p>
Fotografía 11	Fotografía 12
	
<p>Descripción: Ensayo de la densidad real del agregado fino usando el picnómetro.</p>	<p>Descripción: Ensayo de la densidad real del agregado grueso usando la canastilla dentro del agua.</p>

<p style="text-align: center;">Fotografía 13</p>	<p style="text-align: center;">Fotografía 14</p>
	
<p>Descripción: Elaboración de los cilindros de hormigón reemplazando en AN por el AR usando la concretera.</p>	<p>Descripción: Elaboración del ensayo del cono de Abrams para medir el asentamiento de la mezcla.</p>
<p style="text-align: center;">Fotografía 15</p>	<p style="text-align: center;">Fotografía 16</p>
	
<p>Descripción: Fabricación de las probetas cilíndricas de hormigón con las muestras de cilindros.</p>	<p>Descripción: Desencofrado de las muestras cilíndricas de hormigón después de 24 horas.</p>

Fotografía 17	Fotografía 18
	
<p>Descripción: Curado de las probetas cilíndricas de hormigón durante un tiempo de 28 días.</p>	<p>Descripción: Exposición al fuego de las probetas de hormigón mediante un horno de fundición y un soplete</p>
Fotografía 19	Fotografía 20
	
<p>Descripción: Control de temperatura del fuego mediante un pirómetro digital.</p>	<p>Descripción: Obtención de las características físicas de las muestras cilíndricas de hormigón luego de exponerse al fuego.</p>

Fotografía 21



Descripción: Visualización y análisis de tipo de daño producido en el hormigón después de exponerse al fuego.

Fotografía 22



Descripción: Ensayo de resistencia a compresión de los cilindros y análisis del tipo de falla.

Fotografía 23



Descripción: Recolección de las probetas de hormigón después del ensayo a compresión

Fotografía 24

Max. Fuerza	Max. Esfuerzo axial	Max. Tiempo
Calc. at Entire Areas	Calc. at Entire Areas	Calc. at Entire Areas
kN	MPa	seg
140	17.8	70.6400
140	17.8	69.4400
131	16.7	65.8700

Descripción: Resultados de la resistencia para cilindros de prueba