



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

Tema:

Influencia de aditivo aireante combinado con macrofibras de polipropileno en
hormigones de alta resistencia frente al spalling.

Trabajo de titulación bajo la modalidad de trabajo experimental, presentado previo a
la obtención del título de Ingeniero Civil.

AUTOR: Yanzaguano Toainga Bryan Daniel

TUTOR: Ing. Carlos Patricio Navarro Peñaherrera, Mg.

Ambato – Ecuador

Junio – 2026

APROBACIÓN DEL TUTOR

En mi calidad de tutor del trabajo experimental, previo a la obtención del Título de Ingeniero Civil, con el tema: **"INFLUENCIA DE ADITIVO AIREANTE COMBINADO CON MACROFIBRAS DE POLIPROPILENO EN HORMIGONES DE ALTA RESISTENCIA FRENTE AL SPALLING"**, elaborado por el estudiante Bryan Daniel Yanzaguano Toainga, portador de la cédula de ciudadanía número 1850771757, 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, junio 2026



.....
Ing. Carlos Patricio Navarro Peñaherrera, Mg.

TUTOR

AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, **Bryan Daniel Yanzaguano Toaing**a, con C.I. **1850771757** declaro que todos los contenidos y actividades expuestos en el desarrollo del presente trabajo experimental con el tema: **"INFLUENCIA DE ADITIVO AIREANTE COMBINADO CON MACROFIBRAS DE POLIPROPILENO EN HORMIGONES DE ALTA RESISTENCIA FRENTE AL SPALLING"**, así como también los análisis estadísticos, gráficos, conclusiones y recomendaciones son de mi exclusiva responsabilidad como autor del trabajo experimental , a excepción de las referencias bibliográficas citadas en el mismo. En tal virtud, el contenido, efectos legales y académicos que se desprenden del mismo son de exclusiva responsabilidad del autor.

Ambato, junio 2026

.....
Bryan Daniel Yanzaguano Toaing

C.I. 1850771757

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, junio 2026



Yanzaguano Toainga Bryan Daniel

C.I. 1850771757

AUTOR

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO

Los miembros del Tribunal de Grado aprueban el informe del trabajo experimental, realizado por el estudiante Bryan Daniel Yanzaguano Toainga, de la Carrera de Ingeniería Civil bajo el tema:

"INFLUENCIA DE ADITIVO AIREANTE COMBINADO CON MACROFIBRAS DE POLIPROPILENO EN HORMIGONES DE ALTA RESISTENCIA FRENTE AL SPALLING".

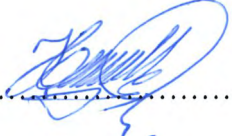
Ambato, junio 2026

Para constancia firma:



.....

Ing. Medina Robalino Wilson Santiago, Mg.
MIEMBRO CALIFICADOR



.....

Ing. Nuñez Aldas Galo Wilfrido, Mg.
MIEMBRO CALIFICADOR

DEDICATORIA

A mi familia, por ser mi mayor fuente de inspiración y apoyo incondicional. A mis padres, quienes, con su esfuerzo, sacrificio y constancia, han hecho posible que alcance esta meta, inculcándome valores y enseñanzas que han guiado cada paso de mi vida.

A todas aquellas personas que creyeron en mí, me brindaron palabras de aliento y apoyo en los momentos difíciles, motivándome a no rendirme y seguir adelante. Este logro también es para ustedes, porque de una u otra manera han sido parte fundamental en mi formación personal y profesional.

AGRADECIMIENTO

En primer lugar, agradezco a Dios por brindarme salud, fortaleza y perseverancia a lo largo de este proceso, permitiéndome culminar con éxito esta etapa importante de mi vida académica. A mi familia, por inculcarme valores, disciplina, apoyo incondicional, comprensión y motivación constante, que han sido el pilar fundamental en cada momento de mi formación.

A mis docentes y, en especial, a mi tutor de tesis, por su guía, paciencia y valiosas enseñanzas, que contribuyeron significativamente al desarrollo de este trabajo, así como a mi crecimiento profesional.

A mis amigos, compañeros de clase y a todas aquellas personas que de alguna manera colaboraron directa o indirectamente en la ejecución de este proceso, brindándome los recursos, el conocimiento y el apoyo necesario para llevar a cabo este trabajo experimental.

TABLA DE CONTENIDOS

APROBACIÓN DEL TUTOR	ii
AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN	iii
DERECHOS DE AUTOR	iv
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO	v
DEDICATORIA	vi
AGRADECIMIENTO	vii
TABLA DE CONTENIDOS	viii
ÍNDICE GENERAL DE TABLAS	x
ÍNDICE GENERAL DE FIGURAS	xi
ÍNDICE DE ANEXOS	xii
RESUMEN EJECUTIVO	xiii
ABSTRACT	xiv
CAPÍTULO I.- MARCO TEÓRICO	1
A. JUSTIFICACIÓN	1
B. ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS	2
C. OBJETIVOS	6
1. Objetivo General	6
2. Objetivos Específicos	6
CAPÍTULO II.- METODOLOGÍA	7
A. Equipos y Materiales	7
1. Materiales	7
2. Equipos	8
B. Métodos	13
1. Fase I: Evaluación de las propiedades físicas y mecánicas de los agregados finos y gruesos	13
2. Fase II: Determinación de la dosificación del hormigón de alta resistencia ..	14
3. Fase III: Evaluación de las propiedades físicas del hormigón una vez sometido a altas temperaturas	16
4. Fase IV: Evaluación del desempeño de la resistencia residual a la compresión de las distintas muestras del hormigón	20
CAPÍTULO III.- RESULTADOS Y DISCUSIÓN	21
A. Análisis y Discusión de Resultados	21
1. Fase I: Evaluación de las propiedades físicas y mecánicas de los agregados finos y gruesos	21

2. Fase II: Determinación de la dosificación del hormigón de alta resistencia..	24
3. Fase III: Evaluación de las propiedades físicas del hormigón una vez sometido a altas temperaturas.....	27
4. Fase IV: Evaluación del desempeño de la resistencia residual a la compresión de las distintas muestras de hormigón.....	34
B. Verificación de hipótesis	37
CAPÍTULO IV.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	38
A. Conclusiones	38
B. Recomendaciones.....	39
BIBLIOGRAFÍA	39
ANEXOS	45

ÍNDICE GENERAL DE TABLAS

Tabla I Materiales Utilizados en la Investigación	8
Tabla II Equipos utilizados en la Fase I.	9
Tabla III Resumen de equipos y ensayos realizados en la Fase I.....	10
Tabla IV Equipos usados en la Fase II.....	11
Tabla V . Equipos utilizados en la Fase III.	12
Tabla VI . Equipos utilizados en la Fase IV.....	12
Tabla VII Ensayos y normativas de los agregados del hormigón	14
Tabla VIII Número de muestras prismáticas.....	15
Tabla IX Tiempos de exposición al fuego según la AISC 19 [28].....	18
Tabla X Referencias acerca de la exposición a altas temperaturas en el hormigón.....	18
Tabla XI Resultados del ensayo densidad del cemento	21
Tabla XII Peso específico y capacidad de absorción de los agregados.....	23
Tabla XIII Densidad aparente suelta y compacta de los agregados	23
Tabla XIV Resultados del ensayo de abrasión	24
Tabla XV Resultados de contenidos de humedad de los agregados	24
Tabla XVI Dosificación para un hormigón de alta resistencia	25
Tabla XVII Dosificación definitiva para añadir el aditivo incorporador de aire y las macrofibras de polipropileno.....	26
Tabla XVIII Pérdida relativa (%) con respecto a la temperatura	29
Tabla XIX Presencia de fisuras frente a las altas temperaturas	32
Tabla XX Evolución del color y características superficiales del hormigón expuesto a altas temperaturas	34
Tabla XXI Resistencia a Compresión (Mpa) a los 28 días de curado frente a los diferentes ciclos de temperatura.....	35

ÍNDICE GENERAL DE FIGURAS

Fig. 1. Curvas ISO y ASTM. F, Ruvalcaba y M, Covarrubias (2017) [30]	16
Fig. 2. Curvas de calentamiento presentadas en la campaña actual [31].	17
Fig. 3. Exposición a altas temperaturas mediante horno (a) y llama directa (b) [34].	19
Fig. 4. Ensayo de compresión.	20
Fig. 5. Faja granulométrica del agregado grueso	22
Fig. 6. Faja granulométrica del agregado fino	23
Fig. 6. (a) Adición de aditivo Incorporador de Aire, (b) Adición de las Macrofibras de Polipropileno, (c) Control de Asentamiento, (d) Curado de Probetas.....	26
Fig. 8. Diferencia de masa a 100 °C.....	27
Fig. 9. Diferencia de masa a 300 °C.....	28
Fig. 10. Diferencia de masa a 700 °C.....	28
Fig. 11. Diferencia de masa a 1200 °C.....	29
Fig. 12. Pérdida de masa vs. Temperatura	31
Fig. 13. a) Degradación avanzada D1, b) Spalling moderado D2, c) Spalling Leve D4, d) Fisuras Avanzadas D5	33
Fig. 14. Resistencia a compresión relativa vs. Temperatura de exposición	37

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1: Ficha Técnica del Aditivo Superplastificante	45
Anexo 2: Ficha técnica del aditivo incorporador de aire.....	47
Anexo 3: Ficha Técnica de las Macrofibras de Polipropileno.....	49
Anexo 4: Densidad del Cemento	51
Anexo 5: Análisis Granulométrico del agregado fino	51
Anexo 6: Análisis Granulométrico del Agregado Grueso.....	52
Anexo 7: Densidad Real y Capacidad de Absorción del Agregado Fino.....	53
Anexo 8: Densidad Real y Capacidad de Absorción del Agregado Grueso	54
Anexo 9: Densidad Aparente Suelta y Compacta del Agregado Fino	55
Anexo 10: Contenido de Humedad del Agregado Fino	55
Anexo 11: Contenido de Humedad del Agregado Grueso	56
Anexo 12: Dosificación de un hormigón de alta resistencia	57
Anexo 13: Diferentes Dosificaciones (D1-D7)	58
Anexo 14: Datos recolectados sobre la pérdida de masa antes y después del horno.....	59
Anexo 15: Resistencia a compresión a los días de curado a 20 °C	62
Anexo 16: Resistencia a compresión a los días de curado a 100 °C, 300 °C, 700 °C y 1200 °C.....	63
Anexo 17: Propiedades Físicas después del horno de la probetas de hormigón	65
Anexo 18: Probetas de hormigón en el horno al terminar su ciclo de temperaturas..	65
Anexo 19: Ensayo a Compresión de las muestras	66

RESUMEN EJECUTIVO

El presente trabajo experimental analiza la influencia del aditivo aireante (AEA) combinado con macrofibras de polipropileno en el comportamiento de hormigones de alta resistencia frente al spalling bajo altas temperaturas. Para ello, se diseñaron siete dosificaciones (D1–D7) con diferentes contenidos de aditivo aireante (0.03% y 0.07%) y fibras (1 y 3 kg/m³); se elaboró un total de 105 probetas sometidas a temperaturas de 20°C, 100°C, 300°C, 700°C y 1200°C durante 3 horas.

Los resultados evidenciaron que la pérdida de masa aumenta con la temperatura, alcanzando valores de 20.2% en la dosificación patrón a 1200 °C, mientras que las mezclas modificadas reducen este valor hasta 11.2%, demostrando una mayor estabilidad térmica. En cuanto a la resistencia a la compresión, se observó un incremento inicial a 100 °C (hasta 136%); a 300 °C, la caída de resistencia disminuyó proporcionalmente, tanto que a 700 °C los valores de resistencia bajaron entre 21% y 32%. Por otro lado, a 1200 °C, las mezclas sin fibras presentaron falla total (0.00 MPa), mientras que las que incorporaron fibras conservaron resistencia residual de hasta 6.69 MPa.

Adicionalmente, el spalling fue más severo en el hormigón convencional, mientras que las mezclas con AEA y fibras mostraron menor desagregación y fisuración. Se concluye que su combinación permite reducir la presión interna de vapor, mejorar la integridad estructural y aumentar la resistencia residual del hormigón frente a condiciones térmicas extremas.

Palabras clave: SPALLING, HORMIGÓN DE ALTA RESISTENCIA, ADITIVO AIREANTE, FIBRAS DE POLIPROPILENO, ALTAS TEMPERATURAS

ABSTRACT

This experimental study analyzes the influence of an air-entraining admixture (AEA) combined with polypropylene macrofibers on the behavior of high-strength concrete subjected to *spalling* under high temperatures. Seven mix designs (D1–D7) were developed with different air-entraining contents (0.03% and 0.07%) and fiber dosages (1 and 3 kg/m³), producing a total of 105 specimens exposed to temperatures of 20°C, 100°C, 300°C, 700°C, and 1200°C for 3 hours.

The results showed that mass loss increases with temperature, reaching values of 20.2% in the control mix at 1200°C, while modified mixtures reduced this value to 11.2%, demonstrating improved thermal stability. Regarding compressive strength, an initial increase was observed at 100°C (up to 136%), followed by a proportional decrease at 300°C, and a significant reduction at 700°C, with values ranging between 21% and 32%. At 1200°C, mixes without fiber exhibited complete failure (0.00 MPa), whereas those incorporating fibers retained residual strength of up to 6.69 MPa.

Additionally, *spalling* was more severe in conventional concrete, while mixtures with AEA and fibers showed reduced disintegration and cracking. It is concluded that their combination helps reduce internal vapor pressure, improve structural integrity, and enhance the residual strength of concrete under extreme thermal conditions.

Keywords: SPALLING, HIGH-STRENGTH CONCRETE, AIR-ENTRAINING ADMIXTURE, POLYPROPYLENE FIBERS, ELEVATED TEMPERATURES.

CAPÍTULO I.- MARCO TEÓRICO

A. JUSTIFICACIÓN

El hormigón se ha consolidado como uno de los materiales esenciales en la construcción moderna. De acuerdo con la *Global Cement & Concrete Association (GCCA)* [1], es el segundo recurso más utilizado en el mundo después del agua, gracias a sus propiedades de resistencia, durabilidad y versatilidad, y llega a representar cerca del 70% del volumen total de construcción a nivel mundial [2].

A nivel nacional, los incendios representan uno de los riesgos más frecuentes y de mayor impacto. En 2024, la Secretaría Nacional de Gestión de Riesgos reportó .815 incendios forestales que afectaron a 22 provincias y más de 83000 hectáreas de cobertura vegetal [3]. Tungurahua estuvo entre las provincias más afectadas, lo que evidencia la vulnerabilidad de la región.

Aunque los informes nacionales se centran en los incendios forestales, los cuerpos de bomberos locales señalan que los incendios estructurales en viviendas y comercios representan cerca del 20% de las emergencias atendidas [4]. En Ambato, durante 2023 y 2024, se registraron múltiples incendios residenciales ocasionados por fallas eléctricas, uso indebido de gas y descuidos domésticos [5]. Estos eventos, aunque menos visibles que los forestales, afectan directamente la seguridad de las familias y la infraestructura urbana.

La fragmentación explosiva del hormigón bajo altas temperaturas ha sido ampliamente documentada en la literatura internacional; sin embargo, las investigaciones sistemáticas que evalúan este fenómeno en hormigones de alta resistencia modificados con aireantes, espumantes o fibras a nivel regional son limitadas. Estos aditivos, cada vez más utilizados para mejorar la trabajabilidad, reducir la densidad o aumentar la resistencia al impacto, podrían influir significativamente en la respuesta térmica del material, pero su efecto frente a cargas térmicas extremas sigue sin conocerse en el contexto ecuatoriano.

La falta de estadísticas consolidadas sobre incendios estructurales y la escasa investigación nacional sobre el *spalling* en hormigones de alta resistencia modificados refuerzan la pertinencia de este estudio. El presente trabajo busca aportar evidencia

experimental sobre el comportamiento térmico de hormigones porosos con aditivos aireantes y fibras de polipropileno, contribuyendo al desarrollo de soluciones constructivas más seguras y adaptadas a las condiciones locales de riesgo.

B. ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS

El spalling es un fenómeno que aparece cuando un hormigón se expone a temperaturas por encima de 200–250 °C durante periodos de tiempo prolongados. Consiste en la ruptura de la estructura pétreo del hormigón por vaporización del agua libre no asociada químicamente, de manera que se crean fisuras en el hormigón [6]. A medida que las moléculas de agua se pierden por deshidratación, el hormigón pierde cohesión y se debilita, fragmentando la sección resistente del hormigón.

Durante un incendio, la superficie externa del hormigón se calienta rápidamente, mientras que el interior tarda más en alcanzar la misma temperatura. Esta diferencia térmica genera tensiones internas que provocan el desprendimiento. Como consecuencia, la sección original del elemento estructural se reduce, afectando directamente su capacidad portante y aumentando el riesgo de falla [7].

Existen distintos tipos de spalling de superficie, de los áridos, de esquina, explosivo y post-enfriamiento [8]. De todos los tipos, el desprendimiento explosivo es el más representativo y el que produce afectaciones irreparables en el hormigón en caso de incendio. Estudios anteriores [9, 10] demuestran que al ser sometido a temperaturas altas, el hormigón sufre un incremento en la presión de poros, lo que en consecuencia genera un deterioro en el material. De acuerdo con los estudios, se infiere que la presión de los poros por sí sola no genera el desprendimiento, por lo que se cree que previamente el hormigón perdió rigidez. La expulsión violenta de la capa de hormigón ocurre cuando la presión interna dentro de sus poros excede la resistencia del material.

En investigaciones realizadas por Arlinton et al. [11]. Se señala que el incremento de la temperatura es uno de los factores que más comprometen las propiedades del hormigón armado. En el contexto de una edificación, este fenómeno suele manifestarse principalmente durante un incendio. Si bien el hormigón es reconocido por su buen desempeño frente al fuego gracias a cualidades como su incombustibilidad y su baja conductividad térmica, existe un límite a partir del cual su resistencia comienza a deteriorarse. Los estudios muestran que, cuando el material alcanza los 300 °C, su

resistencia a la compresión puede reducirse en torno al 25%. Si la temperatura interna llega a 600 °C, la pérdida se vuelve crítica y alcanza aproximadamente el 75% de la capacidad resistente.

El uso de diferentes tipos de fibras que se encuentran en el mercado, de los cuales se destacan el polipropileno (PP), vidrio, acero y el carbono, de igual manera, el uso de aditivos aireantes como los tensoactivos sintéticos, resinas de madera o ácidos grasos modificados así como el uso de agentes espumantes como los proteicos, sintéticos y orgánicos, son posibles soluciones ante los efectos adversos que producen el spalling en los hormigones como la pérdida de capacidad portante, pérdida de masa y creación de fisuras, de los cuales derivan varias investigaciones que se muestran a continuación:

En su trabajo experimental Andrea Naudín López añadió al hormigón fibras de vidrio, polipropileno (PP), acero en cantidades de 4 kg/m³, 3 kg/m³, 20 kg/m³, respectivamente, finalmente una mezcla de polipropileno y acero, las probetas fueron sometidas a diferentes ciclos de temperaturas: 20°C, 100°C, 160°C, 240°C, 320°C y 400°C con el fin de reproducir una situación más real que sufre el hormigón después de un incendio para realizar una comparación residual en cuanto a sus propiedades físico-mecánicas.

Las 3 dosificaciones diferentes que varían en cuanto a la relación agua/cemento de 0.4, 0.5 y 0.6, los resultados demostraron una mejor respuesta en ensayos luego de haber sido expuestos a las temperaturas mencionadas como el de doble punzonamiento (Barcelona), Flexión a tres puntos con Entalla y el ensayo de Emisión Acústica para el hormigón que contiene una mezcla de fibras de acero y de polipropileno con una relación de A/C óptimo de 0.5, con proporciones utilizadas de fibra metálica (20 Kg/m³) y de fibra de PP (3 Kg/m³) mezclada que ofrece una resistencia máxima sin fuego y también es óptima para el caso de incendio. El uso de fibras metálicas y de polipropileno mostró una mejora de más del 60% y también evitó la explosión del hormigón, lo que es muy relevante en estructuras sometidas a altas temperaturas. [6]

De la misma manera, Eduardo Sánchez [12], en su proyecto de tesis, analizó las propiedades en frío (propiedades residuales) de un hormigón autocompactante de alta resistencia reforzado con fibras de polipropileno a temperaturas de 100 °C, 300 °C y

500 °C. Además de la influencia de la adición de estas fibras de diferentes longitudes (6 y 24 mm) a la mezcla en una cantidad de 2 kg/m³. De este estudio se han extraído los siguientes resultados: De manera general, la adición de fibras de polipropileno mitiga y reduce las afectaciones adversas al hormigón, como la pérdida de rigidez, masa y agrietamientos. Esto se debe al efecto cocido que las fibras ejercen sobre las fisuras y a la generación de los conductos de escape de gases que las fibras crean al derretirse, disminuyendo el efecto de spalling.

Hay que resaltar que la dosificación que contenía fibras con longitudes de 24 mm tuvo un comportamiento estructural mejor que aquel que contenía fibras con longitudes de 6 mm debido a un mayor volumen de poros y por lo tanto un mayor volumen de conducto de escape obteniendo así un hormigón más dúctil, sin embargo, un exceso en la adición de fibras a la muestra puede acarrear una disminución de los valores de la carga de pico. Las fibras al derretirse son huecos o poros carentes de resistencia alguna, por lo que es lógico que un porcentaje de adición inadecuado traiga consecuencias negativas reflejadas en los valores de la carga de pico.

Por otro lado, Yu Chen (2019) [13], en su trabajo de tesis, averiguó la forma en que afectan las burbujas de aire al comportamiento del hormigón expuesto al fuego. Diseñó diferentes hormigones con relaciones de agua/cemento de 0.3 a 0.5, con contenido de aire que varió de 5% a 15%, mezclados con fibras de polipropileno (PP) en fracción de volumen de 2 kg/m³. Las probetas se introdujeron en el horno durante un periodo de 90 min, alcanzando una temperatura máxima de 1850 °F (1010 °C), siguiendo la curva tiempo-temperatura según la norma ASTM E-119 [14]. Todas las muestras mostraron una pérdida de resistencia a la compresión de entre 6,8% y 9,8% como máximo. El valor residual promedio a la compresión fue de 4.5 MPa, mientras que el valor mínimo fue de 2.56 MPa y el máximo de 6.9 MPa. Se llegó a la conclusión de que cuando el contenido de vacíos es superior al 5%, la resistencia a la compresión disminuye a medida que el contenido de poros aumenta y que la adición de fibras de PP en hormigón con aire incorporado al 10 % muestra mejores resultados después de ser expuesto a altas temperaturas; sin embargo, en efecto, no es del todo notable.

Además, se plantearon la incorporación de aire como alternativa al polipropileno y el efecto de su resistencia a la compresión a altas temperaturas como lo hicieron J. Holan et al. [15], Para lo cual hicieron la comparación de 15 dosificaciones de referencia y 15 muestras con aire incorporado en un volumen de 0,4 %; los experimentos se llevaron a cabo a temperatura ambiente (20 °C) y a temperaturas altas.

Debido a la baja tasa de aumento de temperatura y la suficiente porosidad y permeabilidad del hormigón, en ninguna muestra se evidenció spalling, sin embargo para el caso del hormigón con aire incorporado se encontró que la resistencia a la compresión a las temperaturas de 200 °C, 400 °C, 600 °C y 800 °C era del 80 %, 81 %, 40 % y 23 %, respectivamente, de la resistencia inicial a temperatura ambiente a diferencia del hormigón sin aire incorporado que por el contrario mostraba tendía a aumentar al menos en el primer ciclo con el 115 %, 95 %, 54 % y 23 %, respectivamente del referencial. A temperaturas altas (800 °C) la diferencia entre la resistencia de los dos tipos de muestras es insignificante. En general, se observó un efecto adverso de la incorporación de aire en la resistencia a la compresión.

Un estudio experimental acerca de la influencia de la estructura porosa de las propiedades del hormigón con contenido de aditivo incorporador de aire en porcentajes que iban del 0.04% al 1.50% por parte de Kamil Zalewski (2025) [16]. Se confirmó la eficacia del aditivo incluser de aire, que, entre otros, mejoró la trabajabilidad del hormigón y formó poros generalmente menores a 1 mm, lo que condujo a una disminución de la resistencia a la compresión; sin embargo, la resistencia a ciclos de congelación y descongelación mejoró. Se pudo también determinar que el porcentaje óptimo de aditivo fue del 0,2% de la masa de concreto. El aumento del aditivo y, por consiguiente, de poros en hormigón disminuye su capacidad portante, lo que contrasta con [13].

En un estudio realizado por Paweł Ogrodnik et al. [17] Se investigó la modificación de hormigones refractarios con agentes de aireación para mitigar el desprendimiento explosivo ("spalling") en incendios. Se diseñó un hormigón con cemento de aluminio y agregados de residuos cerámicos sanitarios, utilizando un agente de aireación Microporan. Se prepararon probetas cúbicas (10x10x10 cm) y cilíndricas (10x20 cm) con niveles variables de aireación (0%, 0.5% y 1% respecto al cemento), que se

acondicionaron en ambientes secos y húmedos y se expusieron a temperaturas de 20 °C a 1000 °C simulando un incendio.

Los resultados demostraron que la aireación previene el desprendimiento explosivo. El aumento en la aireación incrementa la resistencia a la compresión a altas temperaturas. El hormigón sin aireación, no expuesto a la humedad, tuvo una resistencia promedio de 101.00 MPa. Tras el calentamiento, esta resistencia disminuyó a 95.88 MPa y aún más (73.46 MPa) en muestras sumergidas en agua antes del calentamiento. La adición de 0.5% de agente de aireación incrementó la resistencia del hormigón autocalentado en un 3.15% comparado con el hormigón precalentado sin aireación, mientras que con 1% de agente, el aumento fue del 18.49%. En probetas cilíndricas calentadas a 400 °C, la resistencia varió entre 66.96 MPa y 73.68 MPa, y a 800 °C, entre 52.16 MPa y 70.73 MPa, dependiendo del nivel de aireación. Se concluye que la combinación de cemento de alúmina y agregados cerámicos reciclados es adecuada para hormigón resistente a altas temperaturas.

C. OBJETIVOS

1. *Objetivo General*

Analizar el efecto combinado del aditivo aireante y macrofibras de polipropileno sobre la resistencia del hormigón frente al spalling por altas temperaturas.

2. *Objetivos Específicos*

- Establecer la dosificación óptima para un hormigón de alta resistencia.
- Determinar las propiedades físicas posteriores a altas temperaturas.
- Medir la resistencia mecánica a la compresión residual de las probetas sometidas a altas temperaturas.

CAPÍTULO II.- METODOLOGÍA

Para este trabajo experimental en la metodología planteada se realizarán cilindros de hormigón con una dosificación por determinar con diferentes contenidos de aire de 0,03 % y 0,07 % del peso del cemento combinados con microfibras de polipropileno (1 y 3 kg/m³), los cuales serán sometidos a temperatura ambiente (20 °C), 100 °C, 300 °C, 700 °C y 1200 °C. Cada combinación será sometida a cinco niveles de temperatura, con tres repeticiones por condición, totalizando 105 probetas. De tal manera que podremos determinar la influencia de estos aditivos combinados con fibras de polipropileno. El enfoque resultante será del tipo mixto, es decir, cuantitativo debido a la determinación de la carga portante residual del hormigón y del tipo cualitativo, ya que de la misma manera determinaremos las propiedades físicas como el color, aparición de fisuras y pérdida de masa, las cuales se dividen en las siguientes cuatro fases.

A. Equipos y Materiales

La descripción de cada uno de los equipos y materiales se realizará en función de las 3 fases planteadas que se describen a continuación:

1. Materiales

En esta fase se desarrollaron todos los procedimientos y ensayos para la obtención de la dosificación con respecto a los agregados y el cemento, para después elaborar las probetas prismáticas. En esta fase los materiales implementados en cada ensayo fueron:

Tabla I
Materiales Utilizados en la Investigación

MATERIAL	DETALLE
ARENA	Lavada originaría del cantón Baños
RIPIO	1/2 " Proveniente de las viñas (Ambato)
CEMENTO	Tipo GU marca Holcim
AGUA	Potable
ADITIVO	Superplastificante (ver Anexo 1), incorporador de aire (ver Anexo 2)
MACROFIBRAS	Sintética de polipropileno Longitud: 2" Aspect Radio: 74 Punto de fusión: 160 °C (ver Anexo 3)
GASOLINA	Extra

2. Equipos

Fase I: Evaluación de las propiedades físicas y mecánicas de los agregados finos y gruesos.

Los equipos utilizados en esta primera fase se detallan a continuación y en la Tabla II se especifica en qué ensayos fueron utilizados:

Tabla II
Equipos utilizados en la Fase I.

EQUIPO	DETALLE
Horno Eléctrico	Marca Humboldt, con un voltaje de 110 V y una temperatura Regulable de hasta 232 °C.
Tamices Cuadrados Metálicos	Tamaños de 1", ¾", ½", 3/8", #4 y bandeja con dimensiones de 50 x 50 cm.
Balanza Eléctrica	Marca Boeco con unidades de kg y g.
Tamices Circulares Metálicos	Tamaños de 3/8", #4, #8, #16, #30, #50, #100, #200, bandeja, con una dimensión de 25 x 25 cm.
Tamizadora Electrónica	Marca Controls, con una capacidad de hasta 15 tamices.
Máquina de los Ángeles	Marca 48-D0500/G, con un tambor de acero, 11 esferas del mismo material.
Canastilla Metálica	Contiene una malla #8, con dimensiones de 20.3 x 20.3 cm.
Frasco de Le Chatelier y pipeta	Capacidad de 500 ml de vidrio.
Cono	Diámetro de 40 x 90 x 70 mm de bronce.
Pisón	Diámetro de 25.5 x 170 mm de acero

Tabla III

Resumen de equipos y ensayos realizados en la Fase I

FASE I	Ensayos							
	AG-G	AG-F	AB-G	DRA-G	DRA-F	DA-SC	DC	CH-A
Equipos								
Horno Eléctrico	X	X	X	X	X			X
Tamices Metálicos	X	X	X					
Balanza Eléctrica	X	X	X	X	X	X		
Máquina de los Ángeles			X					
Frasco de Le Chatelier y pipeta					X		X	
Molde Metálico						X		
Varilla Compactadora						X		
Cono y Pisón					X			
Canastilla Metálica				X				
Tamizadora Electrónica		X						

Nota: **AG-G:** Análisis granulométrico del agregado grueso, **AG-F:** Análisis granulométrico del agregado fino, **AB-G:** Ensayo de abrasión del agregado grueso, **DRA-G:** Determinación de la densidad real y capacidad de absorción del agregado grueso, **DRA-F:** Determinación de la densidad real y capacidad de absorción del

agregado fino, **DA-SC**: Densidad aparente suelta y compactada de los agregados, **DC**: Densidad del cemento, **CH-A**: Contenido de humedad de los agregados.

Fase II: Determinación de la dosificación para un hormigón de alta resistencia.

Los equipos que se utilizaron para la elaboración de los cilindros patrón y con porcentajes de aditivo y fibras son los que se muestran en la siguiente tabla:

Tabla IV
Equipos usados en la Fase II

EQUIPOS	DETALLE
Cono de Abrams	Base superior: 100 mm
	Base inferior: 200 mm
	Altura: 300mm
	Varilla compactadora de acero
	Dimensiones: 16mm x 600mm
Concreteira	Combustible: Gasolina
Martillo de goma	Material: caucho
Cámara de curado	Temperatura: 23 ± 2
	Dimensiones:
	Base superior: 100 mm
	Base inferior: 200 mm
	Altura: 300 mm
Molde de probetas	Material: Acero
normalizadas	Altura: 200 mm
	Diámetro: 100 mm
Balanza electrónica	Marca: Boeco

Fase III: Evaluación de las propiedades físicas del hormigón una vez expuestas a elevadas temperaturas.

En esta fase se utilizaron los equipos que se muestran en la siguiente tabla:

Tabla V

Equipos utilizados en la Fase III.

EQUIPOS	DETALLE
Horno eléctrico tipo estufa	Voltaje: 110 V
	Temperatura Máxima: 350
	Marca: PRECISIÓN
Horno eléctrico tipo mufla	Voltaje: 220 V
	Temperatura Máxima: 1200 °C
	Marca: BIOBASE
Balanza Electrónica	Marca: KERN

Fase IV: Evaluar el desempeño de la resistencia residual a la compresión de las distintas muestras del hormigón

Por último, en la cuarta fase, únicamente se utilizó el equipo detallado en la siguiente tabla:

Tabla VI

Equipos utilizados en la Fase IV.

EQUIPOS	DETALLE
Máquina de Compresión y Flexión	Origen: Laboratorio de ingeniería civil de la Universidad Técnica de Ambato
	Capacidad: 2000 kN
	Serie: 123205510036
	Cumple con la normativa: ASTM C 169 y INEN 2874

B. Métodos

El presente trabajo experimental se dividió en 4 fases, una preliminar donde se desarrollaron todos los ensayos correspondientes a los agregados, en la segunda etapa se determinó la dosificación para un hormigón de alta resistencia que según la ACI 211 – 4R [18], tiene un $f'_c > 55$ Mpa , en la tercera fase observó las características físicas de las probetas, por otro lado, en la cuarta se identificó la diferencia entre la resistencia de las probetas y finalmente se comparó el efecto del aditivo incorporador de aire combinado con las macrofibras ante diferentes ciclos de temperatura.

1. Fase I: Evaluación de las propiedades físicas y mecánicas de los agregados finos y gruesos.

En la Fase I se procedió a la adquisición de los agregados pétreos que radican su origen en el cantón Baños, para el caso del agregado fino y de las viñas en Ambato para el agregado grueso, y a la evaluación de sus propiedades físicas y mecánicas. Es importante mencionar que, previo a los ensayos, los materiales fueron lavados con el fin de eliminar cualquier agente contaminante en el agregado. Estas características son esenciales para la producción del hormigón, ya que influyen directamente en su dosificación y en su proceso de elaboración. Todo este procedimiento permitió cumplir el objetivo establecido para esta etapa. Las actividades desarrolladas durante esta fase se presentan en la Tabla VII:

Tabla VII
Ensayos y normativas de los agregados del hormigón

ENSAYO	NORMATIVA
Densidad del cemento	INEN 156 [19]
Análisis granulométrico de los agregados	INEN 696 [20]
Densidad relativa y absorción del árido fino	INEN 856 [21]
Densidad relativa y absorción del árido grueso	INEN 857 [22]
Masa unitaria y porcentaje de vacíos	INEN 858 [23]
Abrasión	INEN 860 [24]
Contenido de humedad	INEN 862 [25]

2. Fase II: Determinación de la dosificación del hormigón de alta resistencia

En la Fase II, se determinó la dosificación de un hormigón de alta resistencia ($F'_c > 55$ Mpa) a los 28 días de curado para posteriormente añadir las macrofibras de polipropileno y el aditivo incorporador de aire según la dosificación planteada.

a) Cálculo de la dosificación

Para elaborar la mezcla de hormigón de alta resistencia se empleó la normativa del American Concrete Institute, ACI 211.4R [18], la cual establece el procedimiento para determinar la dosificación adecuada de este tipo de hormigón. A partir de las propiedades de los materiales utilizados, es posible definir la proporción óptima que satisfaga las exigencias del proyecto. No obstante, es fundamental señalar que el comportamiento final del hormigón depende directamente de la calidad y características de los insumos disponibles; por ello, si los materiales no cumplen con los parámetros mínimos requeridos, la dosificación obtenida podría no reflejar con precisión el desempeño esperado.

b) Elaboración de hormigón con distintos porcentajes de aditivo incorporador de aire y fibras de polipropileno.

Una vez definida la dosificación, se elaboraron probetas cilíndricas de 100×200 mm, se utilizaron para el control de la resistencia a la compresión a los 28 días, siendo moldeadas en dos capas de hormigón, compactadas con 25 golpes de varilla y de 10 a 15 golpes de mazo de caucho por capa, con el objetivo de evaluar la influencia de las fibras bajo altas temperaturas. Conforme a lo establecido en la norma NTE INEN 3124 [26].

Para esta fase se elaboró un total de 105 probetas prismáticas con un hormigón de alta resistencia que fueron sometidas a distintas temperaturas. Se realizaron 1 dosificación (D1 de control) y 6 dosificaciones con diferentes contenidos de fibras y de aditivo (D2-D7). En cada una se realizaron 15 cilindros, 3 para cada ciclo de temperatura, tal como se muestra en la Tabla VIII.

Tabla VIII
Número de muestras prismáticas

Dosificación	AEA (%)	PP (kg/m ³)	20°C	100°C	300°C	700°C	1200°C	Suma
D1	—	0	3	3	3	3	3	15
D2	0.03	0	3	3	3	3	3	15
D3	0.03	3	3	3	3	3	3	15
D4	0.07	0	3	3	3	3	3	15
D5	0.07	3	3	3	3	3	3	15
D6	0.03	1	3	3	3	3	3	15
D7	0.07	1	3	3	3	3	3	15
Total Probetas								105

La cantidad adoptada tanto para el contenido de aditivo incorporador de aire como para el de las macrofibras de polipropileno fue usada de acuerdo con los antecedentes investigativos; sin embargo, para el caso del aditivo incorporador de aire, dado que en su ficha técnica se muestra un rango de dosificación del 0.03% al 0.1%, se adoptaron los valores de 0.07% y 0.07% del peso del material cementante para no comprometer la eficacia del aditivo. Además, para obtener un resultado fiable se necesitan al menos 3 ensayos; se tuvo la necesidad de realizar esa cantidad de probetas para cubrir todas las temperaturas de exposición.

3. Fase III: Evaluación de las propiedades físicas del hormigón una vez sometido a altas temperaturas.

Dentro de esta fase se investigó lo referente a la normativa acerca de la exposición a altas temperaturas, donde se obtuvieron las siguientes normas:

- ASTM E119 Standard Test Methods for Fire Tests of Building Construction and Materials [27].
- AISC 19 Fire Resistance of Structural Steel Framing [28].
- ISO 834 Fire Resistance Tests [29].

Tanto la norma ASTM E119 como la ISO 834 establecen curvas normalizadas de comportamiento de un incendio, en las cuales la temperatura se incrementa en función del tiempo hasta alcanzar valores predeterminados. En la Figura se presentan dichas curvas, donde se observa una rápida elevación de la temperatura en los primeros intervalos de tiempo, característica representativa de incendios normalizados y de gran relevancia para el análisis del comportamiento de los materiales estructurales frente al fuego.

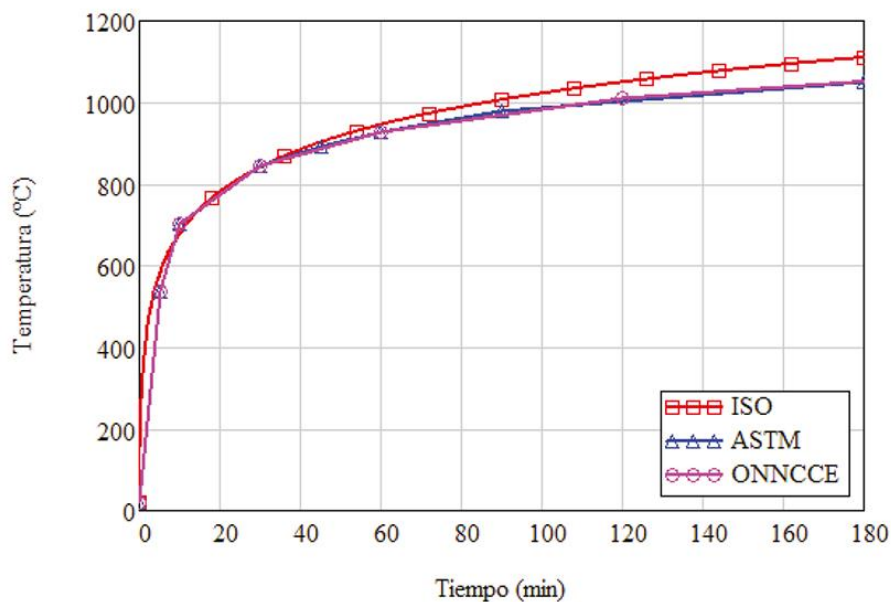


Fig. 1. Curvas ISO y ASTM. F, Ruvalcaba y M, Covarrubias (2017) [30]

La curva ISO 834 presenta una velocidad de calentamiento bastante rápida, lo que puede generar gradientes térmicos elevados y dificultar su reproducción en condiciones de laboratorio. En cambio, las curvas experimentales permiten un

calentamiento más progresivo y una etapa de estabilización, favoreciendo una distribución más uniforme de la temperatura y resultados más confiables.

Este tipo de enfoque ha sido aplicado en estudios previos, como el de Varona et al. [31] Donde se evalúan las propiedades residuales del hormigón mediante exposiciones a temperaturas controladas. Por ello, en este trabajo la curva ISO 834 se utiliza únicamente como referencia, mientras que la metodología adoptada permite analizar fielmente el efecto de la temperatura.

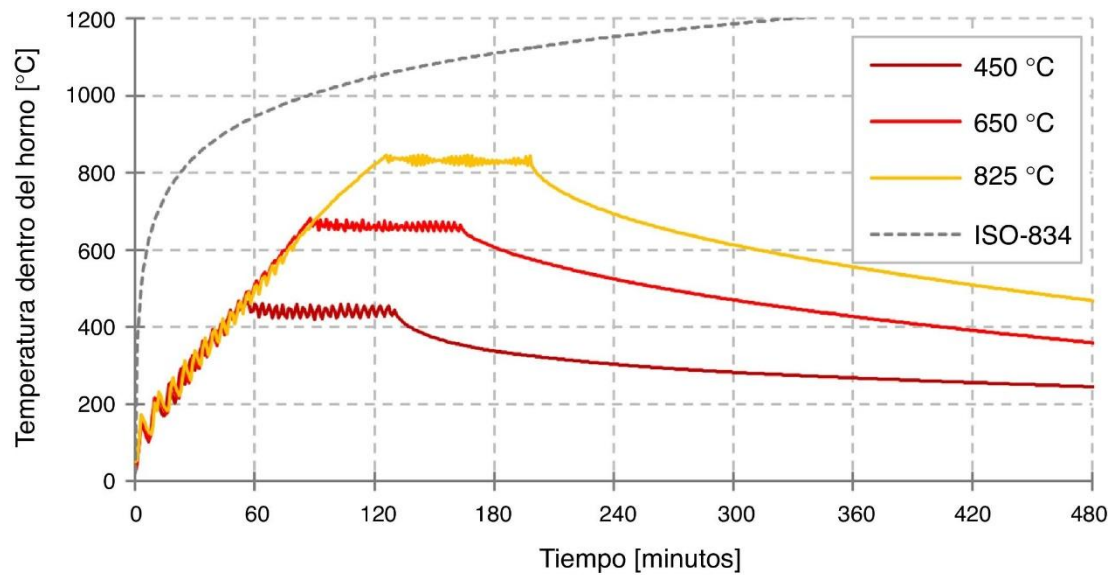


Fig. 2. Curvas de calentamiento presentadas en la campaña actual [31].

La guía AISC 19 define los períodos de resistencia al fuego de los elementos estructurales en función de la clasificación del tipo de edificación, considerando los tipos I y II como estructuras no combustibles. Adicionalmente, estos tiempos se vinculan con el uso u ocupación del edificio, clasificándolo, entre otros, como A (Asamblea) y B (Comercial). A partir de la combinación de estos criterios, se establecen los valores de resistencia al fuego que se presentan en la siguiente tabla:

Tabla IX

Tiempos de exposición al fuego según la AISC 19 [28].

Requisitos de resistencia al fuego del IBC para marcos estructurales de edificios (tomados de la tabla 601 del IBC)		
Tipo de CONSTRUCCIÓN		Clasificación (Horas)
Tipo I	A	3
	B	2
Tipo II	A	1
	B	0

Además de la normativa existente, se han desarrollado diversas investigaciones y campañas experimentales orientadas al estudio del comportamiento de los materiales frente a altas temperaturas, en las cuales se emplea una tasa de incremento térmico constante y se define un intervalo de tiempo específico durante el cual las probetas permanecen expuestas a la temperatura máxima alcanzada.

Tabla X

Referencias acerca de la exposición a altas temperaturas en el hormigón.

TEMA	TIEMPO DE EXPOSICIÓN Y TASA DE CRECIMIENTO DE TEMPERATURA
Preliminary Study of Fire Damage on Pervious Concrete with Silica Fume and Steel Fiber	Tasa de crecimiento de 10 °C/min hasta llegar a la temperatura establecida, para después apagar el horno después de 2 horas y dejar reposar 24 horas. [32]
Air-entrainment as an alternative to polypropylene fibers and their effect on the compressive strength of concrete at high temperatures	Tasa de crecimiento para 200 °C, 400 °C, 600 °C y 800 °C de 600 °C/hora, y para 800 °C de 1000 °C/hora con una duración de 3 horas. [15]
Effects of thermal damage on physical properties and cracking behavior of ultrahigh-performance fiber-reinforced concrete	Tasa de crecimiento de 1 °C/min, exposición de 150, 200, 300 y 400 °C Durante 4 horas. [33]

Mencionado todo lo anterior, en el presente trabajo experimental se definió la temperatura de exposición en 20 °C, 100 °C, 300 °C, 700 °C y 1200 °C. Como método de exposición se utilizaron hornos con una tasa de crecimiento de 10 °C/min y un periodo de 3 horas a la temperatura máxima, además de reposar 24 horas dentro de los mismos para su enfriamiento.

Finalmente se implementaron métodos experimentales debido a la utilización de hornos para someter las probetas a distintas temperaturas; antes de su ingreso, se registró la masa de cada una. Posteriormente, una vez finalizada la exposición térmica, se realizó una nueva medición, lo que permitió determinar el porcentaje de pérdida de masa en función de la temperatura aplicada.

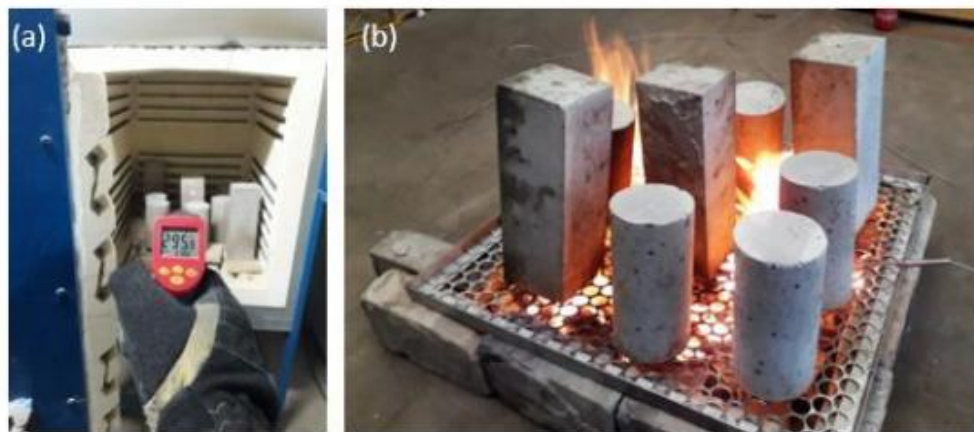


Fig. 3. Exposición a altas temperaturas mediante horno (a) y llama directa (b) [34].

Las probetas que fueron analizadas en esta etapa serán las afectadas por la temperatura, es decir, aquellas afectadas por un calentamiento de sus materiales mediante el horno, como se mostró en la Tabla VIII.

El análisis de las masas de las probetas antes y después de la exposición permitió evaluar la respuesta del hormigón, con y sin refuerzo de fibras de polipropileno combinado con el aditivo incorporador de aire, frente a altas temperaturas. Tras la acción del fuego se evidenció la aparición de grietas asociadas al fenómeno de *spalling* o agrietamiento explosivo, originado por el incremento de la presión del agua atrapada en el interior del material. Estas fisuras fueron identificadas en distintas probetas con el fin de compararlas en función de la temperatura de exposición.

4. Fase IV: Evaluación del desempeño de la resistencia residual a la compresión de las distintas muestras del hormigón

Finalmente, la cuarta etapa del estudio se desarrolló mediante dos enfoques metodológicos. El primero fue de carácter experimental, en el que se compararon los resultados previamente obtenidos, considerando las condiciones físicas de las probetas y su comportamiento durante el ensayo de compresión. En esta fase se evaluaron todas las probetas indicadas en la Tabla VIII.

El segundo enfoque fue descriptivo, basado en la comparación de los resultados experimentales con investigaciones relacionadas con el uso de fibras en el hormigón, incluido el aditivo incorporador de aire expuesto a altas temperaturas. Para este análisis se consideraron estudios previos sobre hormigones reforzados con fibras de acero y fibras plásticas, con el fin de contrastar y contextualizar los resultados obtenidos.

La finalidad del ensayo de compresión implica someter cilindros de hormigón moldeados a una carga axial a una velocidad controlada de 0.25 ± 0.05 MPa/s hasta su rotura. La resistencia nominal a compresión se determina dividiendo la carga máxima durante la prueba entre el área de la sección transversal del espécimen. [35]



Fig. 4. Ensayo de compresión.

CAPÍTULO III.- RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el presente capítulo se desarrolla el análisis y la discusión de los resultados obtenidos a partir de la metodología experimental descrita previamente. Los datos recopilados son interpretados de manera crítica y comparados con investigaciones y antecedentes científicos relacionados con el comportamiento de los hormigones de alta resistencia modificados con aditivos incorporadores de aire y macrofibras de polipropileno, especialmente en relación con el fenómeno del spalling. Asimismo, se procede a la verificación de la hipótesis planteada, con el propósito de confirmar o refutar las suposiciones iniciales que orientaron la investigación. Este apartado reviste especial importancia, ya que permite sustentar los hallazgos obtenidos, aportar rigor científico al estudio y fortalecer la validez de las conclusiones alcanzadas.

A. Análisis y Discusión de Resultados

1. Fase I: Evaluación de las propiedades físicas y mecánicas de los agregados finos y gruesos.

a) Densidad del cemento.

El método aplicado para un cemento industrial Holcim tipo GU, controlado a una temperatura de 23 ± 2 °C: la Tabla XI presenta los resultados obtenidos del ensayo de la densidad del cemento.

Tabla XI

Resultados del ensayo densidad del cemento

Cemento	Tipo	Densidad (g/cm ³)
Holcim	GU	2.99

b) Análisis granulométrico del agregado grueso

En el análisis granulométrico del agregado grueso se determinó un tamaño máximo nominal de 1/2" y un tamaño máximo de 3/4". El material presentó un módulo de finura de 3.58 y un porcentaje de validez del ensayo de 0.07 %, valor que se encuentra dentro del límite máximo permisible de 0.3 % establecido por la norma INEN 696 [20], lo que permite validar y aceptar los resultados obtenidos.

La Fig. 5 muestra la curva granulométrica correspondiente al agregado grueso analizado.

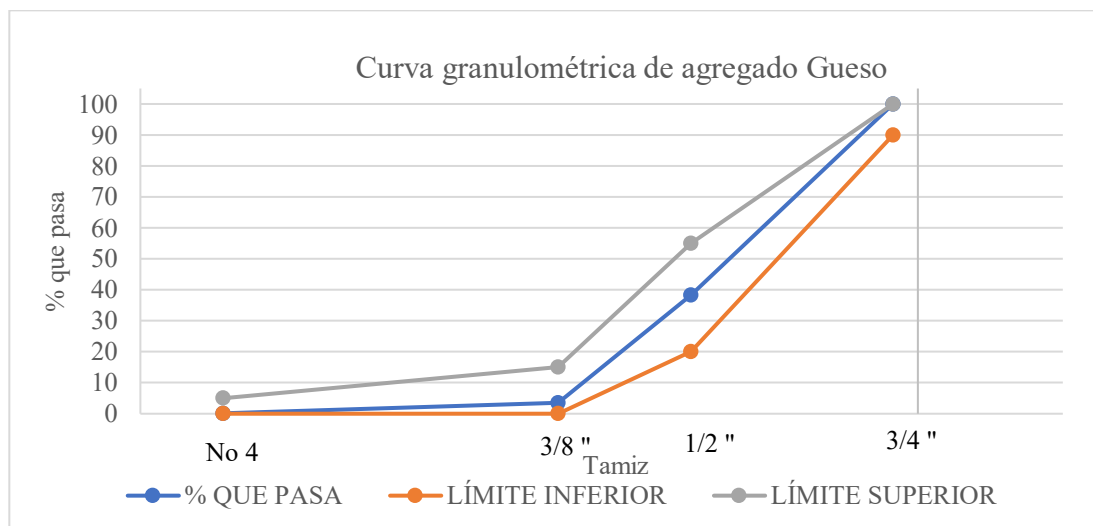


Fig. 5. Faja granulométrica del agregado grueso

Para la dosificación del hormigón se utilizó únicamente el agregado que pasa el tamiz de 3/4", descartándose el material de mayor tamaño. Esta decisión se fundamenta en el ACI 211.4R [18], el cual establece que para hormigones de alta resistencia ($f'_c > 9000$ psi) es recomendable emplear tamaños máximos de agregado más pequeños (entre 3/8" y 1/2"), con el fin de mejorar la resistencia y la calidad de la matriz. En este estudio, el uso de 3/4" como tamaño máximo controlado y la eliminación de partículas mayores permiten mantener una adecuada trabajabilidad, favorecer la densificación del concreto y mejorar la zona de transición interfacial. Asimismo, esta selección facilita una mejor dispersión de las macrofibras de polipropileno, garantizando un comportamiento más homogéneo del material.

c) Análisis granulométrico del agregado fino

En el análisis granulométrico del agregado fino que se indica en la [Fig. 6](#) Se obtuvo un módulo de finura de 3.03, cuyo porcentaje de validez del ensayo fue del 0.10 %.

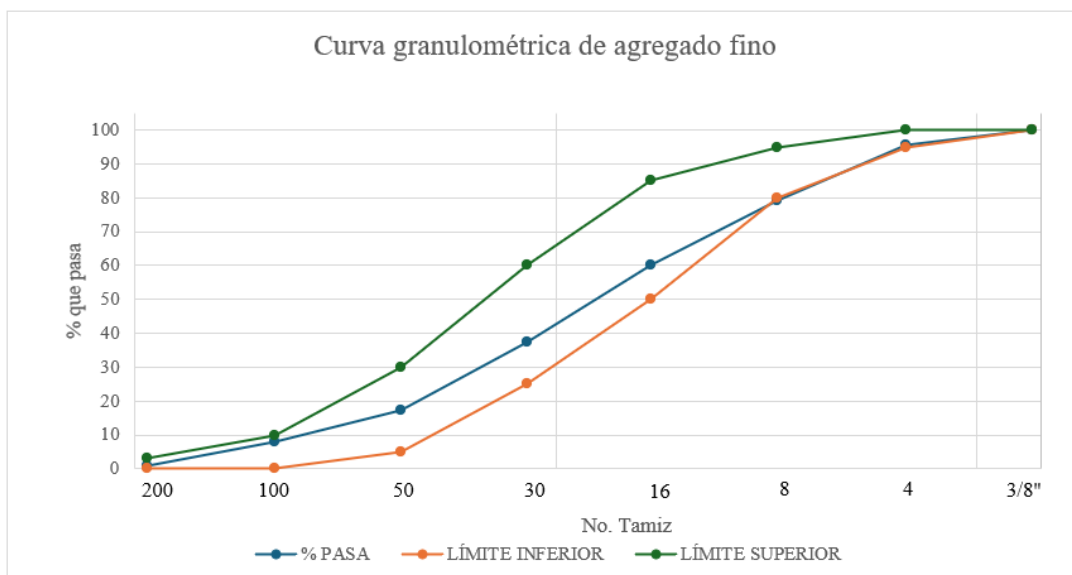


Fig. 6. Faja granulométrica del agregado fino

d) Peso específico y porcentaje de absorción de los agregados

En la Tabla XII se presentan los resultados obtenidos en los ensayos realizados en el laboratorio.

Tabla XII

Peso específico y capacidad de absorción de los agregados

Tipo de agregado	Peso específico (kg/m³)	% absorción
Agregado Grueso	2720	1.53
Agregado Fino	2850	3.07

e) Densidad aparente suelta y compacta de los agregados.

El ensayo se realizó al menos 3 veces para obtener resultados válidos entre sí, la Tabla XIII muestra los resultados obtenidos en este ensayo.

Tabla XIII

Densidad aparente suelta y compacta de los agregados

Tipo de agregado	Densidad suelta kg/m³	Densidad compactada kg/m³
Agregado Grueso	1388	1546
Agregado Fino	1603	1724

f) Abrasión

Los resultados obtenidos evidencian que el agregado grueso es adecuado para su empleo en las mezclas, puesto que la pérdida por desgaste registrada no supera el 50 %, límite máximo permitido por la Norma INEN 872 [36].

La Tabla XIV presenta los resultados obtenidos del ensayo de abrasión del agregado grueso.

Tabla XIV

Resultados del ensayo de abrasión

Tipo de agregado	Abrasión (%)
Agregado Grueso	25

g) Contenido de humedad

La determinación del contenido de humedad se realizó antes de ejecutar las mezclas de hormigón, la Tabla XV presenta los resultados obtenidos en el ensayo.

Tabla XV

Resultados de contenidos de humedad de los agregados

Tipo de agregado	Humedad (%)
Agregado Grueso	1.20
Agregado Fino	5.33

2. Fase II: Determinación de la dosificación del hormigón de alta resistencia

El diseño del hormigón de alta resistencia se fundamentó en los resultados de los ensayos de caracterización de los materiales debidamente lavados, los cuales sirvieron como parámetros iniciales. Adicionalmente, se consideró la resistencia requerida

conforme a lo establecido en la norma ACI 211.4R [18], obteniéndose un valor mayor a 55 Mpa, calculado a partir de la expresión $1.10(f'_c) + 700$ psi, donde f'_c corresponde a 65 Mpa (9427.45 psi), obteniendo un f'_{cr} de 76.33 Mpa (11070.20 psi); sin embargo, el valor adoptado para los cálculos fue de 82.74 Mpa (12000 psi).

Luego de realizar múltiples pruebas y ajustes en la dosificación, como la relación agua/cemento y el contenido óptimo del aditivo superplastificante para alcanzar la resistencia requerida, se llegó a la dosificación definitiva. La Tabla XVI presenta la dosificación de un hormigón de alta resistencia por el método del ACI.

Tabla XVI
Dosificación para un hormigón de alta resistencia

Parámetro	Cantidad	Unidad
Asentamiento estimado	50 - 75	mm
Cantidad de agua de mezclado	196.5	Lt/m ³
Aire atrapado en la mezcla	2	%
Relación w/c	0.26	Adimensional
Cantidad de cemento	755.9	Kg/m ³
Cantidad de ripio (SSS)	1051.3	Kg/m ³
Cantidad de arena (SSS)	425.3	Kg/m ³

Con los resultados de dosificación obtenidos para 1 m³ de hormigón, se procedió a ajustar las cantidades de los materiales considerando la humedad de los agregados, con el fin de llevarlos a condición saturada superficialmente seca (SSS). Posteriormente, se inició la elaboración de las mezclas de prueba en el laboratorio.

A continuación, en la Tabla XVII se presenta la dosificación base que se realizó. Debido a que la relación agua/cemento es baja, se tuvo la necesidad de usar un aditivo superplastificante (MasterGlenium 7955) reductor de agua para aumentar la resistencia y trabajabilidad del hormigón en estado fresco.

Tabla XVII

Dosificación definitiva para añadir el aditivo incorporador de aire y las macrofibras de polipropileno.

DOSIFICACIÓN PATRÓN		
Material	Cantidad para 1 m ³ (kg)	Dosificación
Agua	190.65	0.25
Cemento	755.90	1.00
Arena	434.60	0.57
Ripio	1047.92	1.39
MasterGlenium 7955	7.56	0.01

Al añadir el aditivo superplastificante MasterGlenium 7955 al 1% del peso del cemento, se obtuvo finalmente un hormigón con un asentamiento de 230 mm. Las probetas fueron elaboradas utilizando moldes de conglomerado, mientras que el mezclado del hormigón se realizó en una concreteira, con el fin de garantizar una adecuada dispersión del aditivo incorporador de aire y macrofibras de polipropileno luego de haber incluido el superplastificante en toda la matriz. Posteriormente, las muestras fueron desmoldadas a las 24 horas y sometidas a un proceso de curado durante un período de 28 días.



Fig. 7. (a) Adición de aditivo Incorporador de Aire, (b) Adición de las Macrofibras de Polipropileno, (c) Control de Asentamiento, (d) Curado de Probetas.

3. *Fase III: Evaluación de las propiedades físicas del hormigón una vez sometido a altas temperaturas.*

a) **Pérdida de masa**

Como se describe en la Tabla VIII, son 84 las probetas expuestas a altas temperaturas, en la Fig. 8. Se detalla la pérdida de masa a los 100 °C de exposición, donde el promedio de las probetas D1 demostró una mayor pérdida de masa con un 3.5%, en cambio, las probetas D6 y D7 tuvieron una pérdida de masa de 2.5% y 2.6% respectivamente.

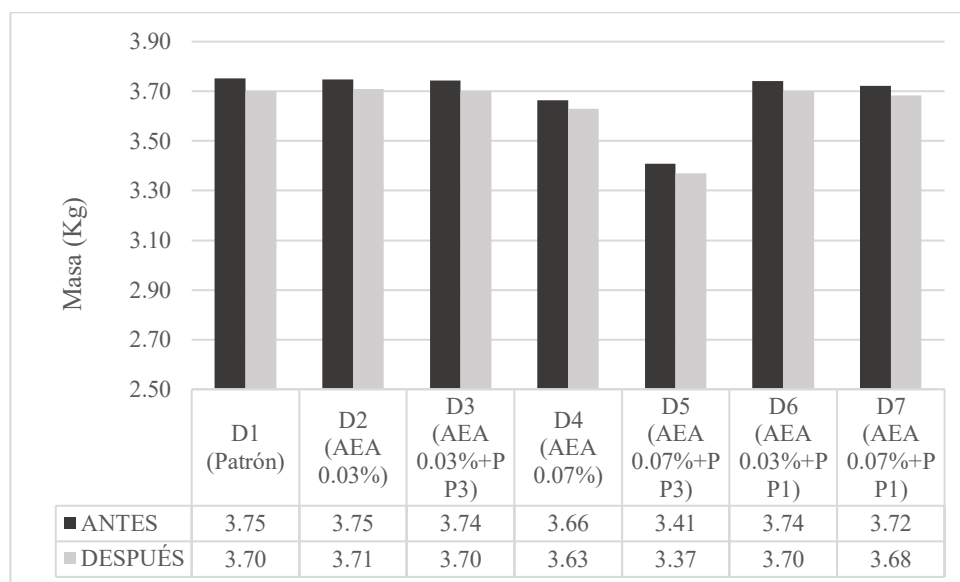


Fig. 8. Diferencia de masa a 100 °C

Las probetas de exposición a 300 °C son detalladas en la Fig. 9, en este caso las probetas, en este caso las probetas mostraron el mismo comportamiento; sin embargo, la D2 mostró una mayor pérdida de masa con un 9,5 %; las probetas de la D6 fueron las que menos masa perdieron con un valor de 7,1%.

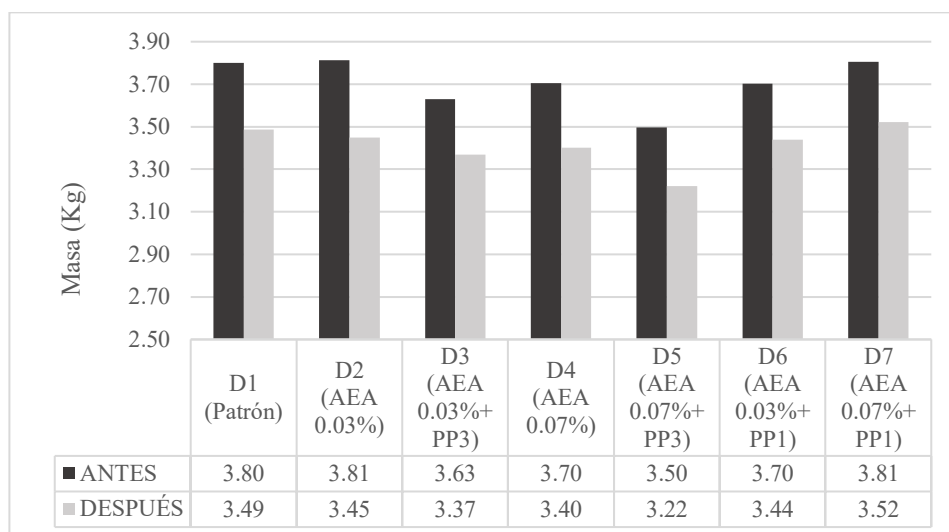


Fig. 9. Diferencia de masa a 300 °C

En la exposición a 700 °C (Fig. 10), se perdió más masa en las probetas de nuestra dosificación patrón con el 13,4% frente al 8,4 % de pérdida que mostraron los cilindros de la Dosificación 4.

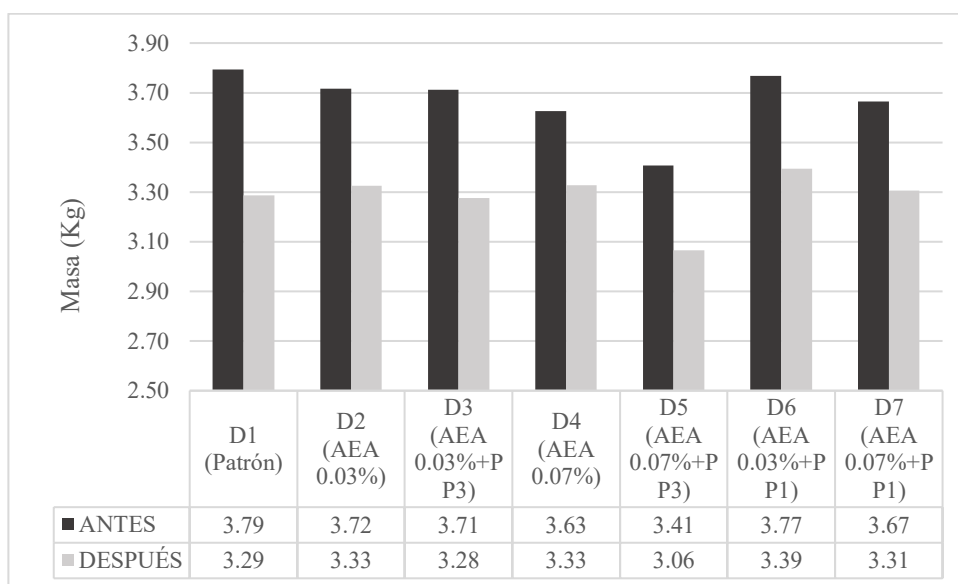


Fig. 10. Diferencia de masa a 700 °C

La masa residual que se obtuvo a 1200 °C (Fig. 11) de exposición fue considerable tanto en que la pérdida de masa de la dosificación patrón fue del 20.2%, por otro lado, la dosificación 7 (D7) mostró una pérdida menor en comparación con las demás de un 11.2%

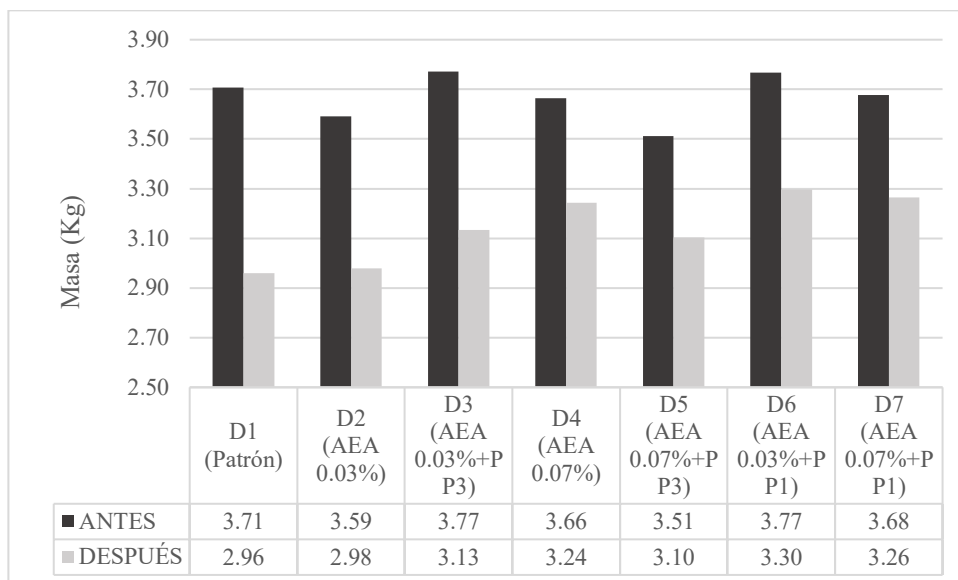


Fig. 11. Diferencia de masa a 1200 °C

Los porcentajes descritos anteriormente se detallan en la Tabla XVIII y se grafican en la Fig. 12, donde se evidencia que el incremento de pérdida de masa es proporcional al incremento de temperatura, incluso con la adición de fibras de aditivo incorporador de aire (AEA), no hubo mayores diferencias entre probetas.

Tabla XVIII

Pérdida relativa (%) con respecto a la temperatura

CÓDIGO	Temperatura de exposición (°C)	Masa (Kg)		% de pérdida
		ANTES	DESPUÉS	
D1 (Patrón)	100	3.75	3.62	3.5%
D2 (AEA 0.03%)		3.75	3.63	3.0%
D3 (AEA 0.03%+PP3)		3.74	3.63	3.0%
D4 (AEA 0.07%)		3.66	3.54	3.3%
D5 (AEA 0.07%+PP3)		3.41	3.30	3.1%
D6 (AEA 0.03%+PP1)		3.74	3.65	2.5%
D7 (AEA 0.07%+PP1)		3.72	3.63	2.6%

D1 (Patrón)	300	3.80	3.49	8.2%
D2 (AEA 0.03%)		3.81	3.45	9.5%
D3 (AEA 0.03%+PP3)		3.63	3.37	7.1%
D4 (AEA 0.07%)		3.70	3.40	8.2%
D5 (AEA 0.07%+PP3)		3.50	3.22	7.9%
D6 (AEA 0.03%+PP1)		3.70	3.44	7.1%
D7 (AEA 0.07%+PP1)		3.81	3.52	7.4%
D1 (Patrón)	700	3.79	3.29	13.4%
D2 (AEA 0.03%)		3.72	3.33	10.5%
D3 (AEA 0.03%+PP3)		3.71	3.28	11.8%
D4 (AEA 0.07%)		3.63	3.33	8.2%
D5 (AEA 0.07%+PP3)		3.41	3.06	10.1%
D6 (AEA 0.03%+PP1)		3.77	3.39	9.9%
D7 (AEA 0.07%+PP1)		3.67	3.31	9.8%
D1 (Patrón)	1200	3.71	2.96	20.2%
D2 (AEA 0.03%)		3.59	2.98	17.0%
D3 (AEA 0.03%+PP3)		3.77	3.13	16.9%
D4 (AEA 0.07%)		3.66	3.24	11.5%
D5 (AEA 0.07%+PP3)		3.51	3.10	11.6%
D6 (AEA 0.03%+PP1)		3.77	3.30	12.5%
D7 (AEA 0.07%+PP1)		3.68	3.26	11.2%

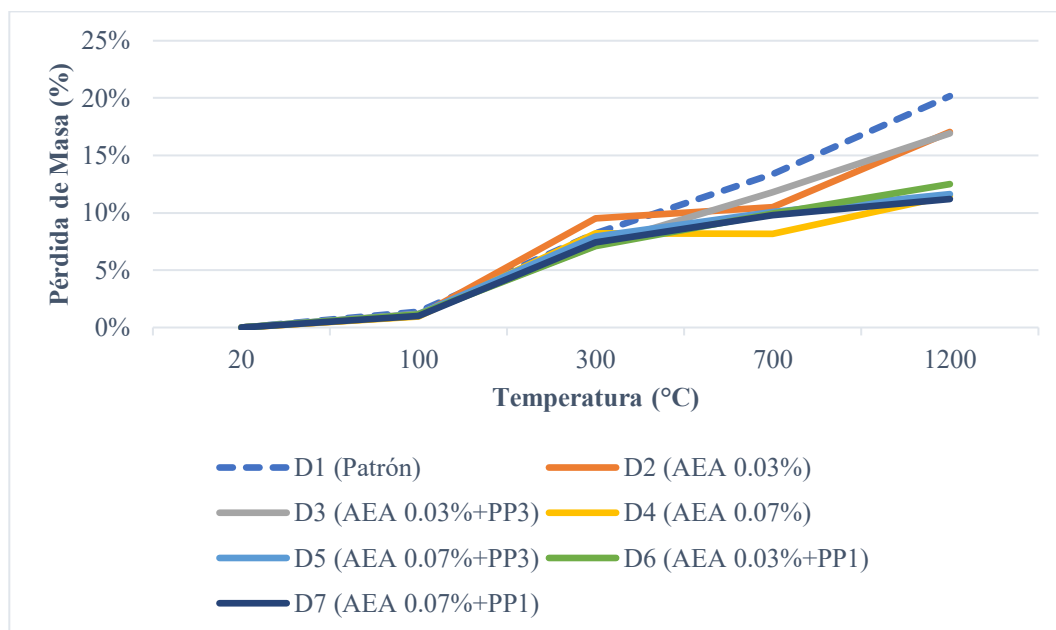


Fig. 12. Pérdida de masa vs. Temperatura

En el estudio llevado a cabo por Hachemi et al. [37]. En hormigones de resistencia normal, alta resistencia y alto desempeño (NSC, HSC y HPC), se determinó que al exponerse a temperaturas de hasta 100 °C, la pérdida de masa resulta poco significativa, correspondiendo principalmente a la evaporación del agua libre contenida en los poros capilares. Sin embargo, al incrementarse la temperatura en el rango de 100 °C a 300 °C, se registró un aumento considerable en la pérdida de masa equivalente al 5,6% de la masa inicial para todos los tipos de hormigón evaluados.

Por otro lado, Varona et al. registraron que, en hormigones de alta resistencia elaborados con áridos calizos y sometidos a temperaturas de hasta 825 °C, la pérdida de masa llegó al 14%, valor notablemente superior al 6% registrado en hormigones convencionales bajo las mismas condiciones de exposición, evidenciando que los HAR son más susceptibles a la degradación térmica debido a su microestructura más densa y compacta. En contraste, Khaliq y Kodur encontraron que los hormigones de alta resistencia con aire incorporado presentaron pérdidas de masa moderadas a temperaturas intermedias, pero con la ventaja de conservar mejores propiedades mecánicas residuales en comparación con mezclas sin aireante, siempre que el contenido de aire no fuera excesivo [38, 39].

b) Fisuras

La **Tabla XIX** muestra la evolución y aparición de fisuras producidas en las probetas correspondientes que fueron expuestas en el hormigón de alta resistencia y en el hormigón combinado con AEA y fibras de polipropileno.

Tabla XIX
Presencia de fisuras frente a las altas temperaturas

Temperatura °C	D1 (Patrón)	D2 (AEA 0.03%)	D3 (AEA 0.03%+PP3)	D4 (AEA 0.07%)	D5 (AEA 0.07%+PP3)	D6 (AEA 0.03%+PP1)	D7 (AEA 0.07%+PP1)
20	SF	SF	SF	SF	SF	SF	SF
100	LF	SF	SF	SF	SF	SF	SF
300	LF	LF	LF	LF	LF	LF	LF
700	MF-SP	MF-SP	MF	MF	MF	MF	MF
1200	PD	PD	AF	AF- SP	AF	AF-SP	AF-SP

Nota. SF: Sin Fisuras, LF: Fisuras Leves, MF: Fisuras Moderadas, AF: Fisuras Avanzadas, SP: Desprendimiento Superficial (Spalling), PD: Degradación Parcial.

Se evidenció un incremento de fisuras visibles parciales hasta los 300 °C, a medida que aumentaba la temperatura en el horno. Las probetas de 700 °C mostraron fisuras moderadas y spalling en D1 (Patrón) y D2 (AEA 0.03 %), en tanto los cilindros de 1200 °C resultaron ser los más afectados, ya que se produjo un spalling explosivo en la mayoría de las probetas e incluso se evidenció una degradación parcial. Sin embargo, las probetas que contenían aditivo incorporador se comportaron levemente mejor, pero al combinar las fibras de polipropileno en D3 (AEA 0.03%+PP3) y D5 (AEA 0.07%+PP3) se logró mitigar el spalling a los 1200 °C.

En la Fig. 13 se muestra el comportamiento del hormigón de alta resistencia con y sin aditivo incorporador de aire y fibras expuestas a 1200 °C, ya que en esa temperatura se evidenciaron mayores cambios como la aparición de spalling y fisuras avanzadas.



Fig. 13. a) Degradación avanzada D1, b) Spalling moderado D2, c) Spalling Leve D4, d) Fisuras Avanzadas D5

c) Color

La Tabla XX muestra la evolución de las características superficiales, cromáticas y físicas del hormigón sometido a diferentes niveles de temperatura desde 20 °C hasta 1200 °C. A temperatura ambiente, el material conserva el color gris característico del cemento Portland hidratado. A medida que aumenta la temperatura, se observa una transición progresiva hacia tonalidades más claras debido a la evaporación del agua libre y posteriormente a la deshidratación de los productos de hidratación del cemento. A temperaturas intermedias (300 °C – 700 °C), se evidencian cambios más marcados en el color acompañados de microfisuración superficial. A temperaturas elevadas (700 °C – 1200 °C), el hormigón presenta deterioro significativo, incluyendo fisuración avanzada, pérdida de cohesión, cambios estructurales visibles y alteraciones severas en la microestructura, lo cual está asociado con la descomposición de compuestos como el hidróxido de calcio y la fusión parcial de los agregados silíceos.

Tabla XX

Evolución del color y características superficiales del hormigón expuesto a altas temperaturas

Temperatura °C	Muestra	COLOR	Descripción
20		Gris	Color natural del cemento Portland hidratado
100		Gris Pálido	Evaporación del agua libre, sin cambios significativos
300		Beige Cemento	Inicio deshidratación leve, cambio tonal
700		Marrón Terroso	Descomposición del hidróxido de calcio y alteración de los silicatos cálcicos
1200		Ocre Amarillo	Sinterización de la pasta de cemento y fusión parcial de los áridos silíceos

4. Fase IV: Evaluación del desempeño de la resistencia residual a la compresión de las distintas muestras de hormigón

La Tabla XXI presenta la resistencia a compresión de diferentes dosificaciones de hormigón a los 28 días de curado, evaluando su comportamiento frente a distintos niveles de temperatura (20 °C, 100 °C, 300 °C, 700 °C y 1200 °C). En general, se observa que todas las mezclas presentan un ligero incremento o mantenimiento de la resistencia a 100 °C, fenómeno asociado a la evaporación del agua libre y a un efecto de secado que puede generar una densificación temporal de la matriz cementicia [38, 39]

A partir de los 300 °C, se evidencia una disminución progresiva de la resistencia en todas las dosificaciones, lo cual se atribuye a la deshidratación de los productos de hidratación, especialmente el gel silicato de calcio hidratado (C-S-H) y el hidróxido de calcio, afectando la integridad estructural del material [40]. Este deterioro se intensifica notablemente a 700 °C, donde las resistencias caen de manera significativa, reflejando la degradación avanzada de la microestructura del hormigón [39].

Finalmente, a 1200 °C, se observa una pérdida casi total de la capacidad resistente en varias mezclas, particularmente en la dosificación patrón, indicando una severa descomposición del material. Sin embargo, las mezclas que incorporan aditivos aireantes y fibras de polipropileno presentan cierta resistencia residual, lo cual sugiere una mejora en el comportamiento frente a altas temperaturas, posiblemente debido a la reducción de presiones internas y al control de fisuración térmica [38, 39].

En conjunto, los resultados evidencian que la incorporación de fibras y aditivos puede contribuir a mejorar la estabilidad del hormigón bajo condiciones térmicas extremas, reduciendo el deterioro estructural y favoreciendo un comportamiento más estable frente al fenómeno de degradación térmica y posibles eventos de spalling [41, 39]

Tabla XXI

Resistencia a Compresión (Mpa) a los 28 días de curado frente a los diferentes ciclos de temperatura

Dosificación	Temperatura °C				
	20	100	300	700	1200
D1 (Patrón)	83.55	89.23	84.16	17.67	0.00*
D2 (AEA 0.03%)	61.54	80.35	74.76	19.86	0.00*
D3 (AEA 0.03%+PP3)	61.70	77.90	72.90	16.13	6.69
D4 (AEA 0.07%)	60.67	82.77	68.94	17.52	5.35
D5 (AEA 0.07%+PP3)	39.80	50.95	46.01	9.81	5.37
D6 (AEA 0.03%+PP1)	66.06	83.89	80.46	20.16	4.62
D7 (AEA 0.07%+PP1)	63.70	84.22	73.80	20.45	5.32

Nota: * Degradación de la muestra, no se puede ensayar a compresión.

Las probetas que presentaron *spalling* parcial pudieron ser sometidas al ensayo de compresión, ya que, a pesar de la pérdida localizada de material en la superficie,

conservaron su integridad estructural global. Esto permitió obtener valores representativos de su resistencia residual, considerando que el núcleo del material no había sido comprometido completamente.

Por el contrario, las probetas expuestas a temperaturas de hasta 1200 °C no fueron ensayadas a compresión en aquellos casos en los que se produjo una desagregación significativa del material. En estas muestras, el daño fue de tal magnitud que se evidenció una pérdida total de cohesión y continuidad, lo que implica que el material ya se encontraba en un estado de falla previo al ensayo, imposibilitando la obtención de resultados válidos de resistencia mecánica.

En la Tabla XXII se define la resistencia relativa a la compresión de las diferentes dosificaciones realizadas y su comportamiento frente a los ciclos de temperatura definidos.

Tabla XXII

Resistencia compresión relativa (%) de las probetas frente a los diferentes ciclos de temperatura

Dosificación	Temperatura °C				
	20	100	300	700	1200
D1 (Patrón)	100%	107%	101%	21%	0%
D2 (AEA 0.03%)	100%	131%	121%	32%	0%
D3 (AEA 0.03%+PP3)	100%	126%	118%	26%	11%
D4 (AEA 0.07%)	100%	136%	114%	29%	9%
D5 (AEA 0.07%+PP3)	100%	128%	116%	25%	13%
D6 (AEA 0.03%+PP1)	100%	127%	122%	31%	7%
D7 (AEA 0.07%+PP1)	100%	132%	116%	32%	8%

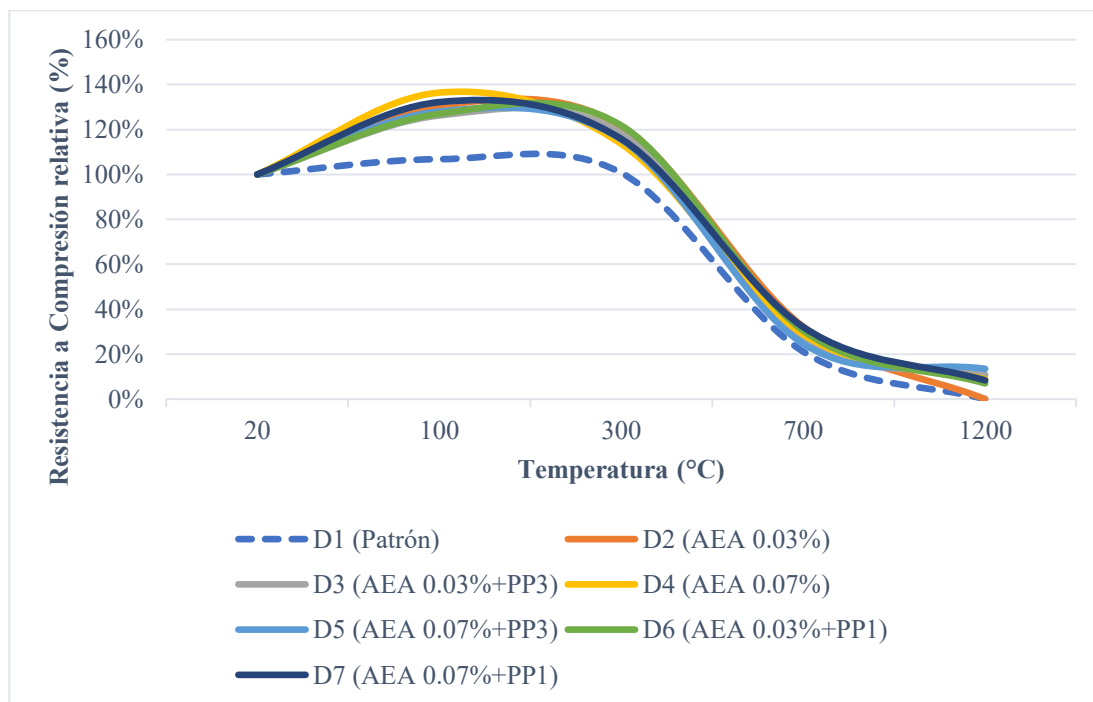


Fig. 14. Resistencia a compresión relativa vs. Temperatura de exposición

A temperaturas moderadas (100 °C y 300 °C), todas las dosificaciones incrementan su resistencia relativa por encima del 100%, destacándose aquellas con AEA, como D4 (136%) y D7 (132%). Sin embargo, a 700 °C se produce una caída significativa de la resistencia (21%–32%) debido a la degradación del gel silicato de calcio hidratado (C-S-H) y al daño interno. Finalmente, a 1200 °C, la mayoría de las mezclas pierden prácticamente toda su capacidad resistente (0% en D1 y D2), aunque las combinaciones con fibras de polipropileno conservan valores residuales bajos (7%–13%), lo que indica una ligera mejora frente al deterioro extremo

B. Verificación de hipótesis

a) Hipótesis

Al combinar aditivo aireante y macrofibras de polipropileno, se reduce el spalling en hormigones de alta resistencia al facilitar la liberación de presión de vapor a altas temperaturas.

b) Verificación de hipótesis

Las probetas con aditivo incorporador de aire combinadas con las macrofibras de polipropileno mostraron una mejor respuesta a la compresión relativa a temperaturas

menores a 300 °C; no mostraron mayor diferencia con respecto al patrón, pero a 700 °C, las mezclas con AEA y fibras presentan mayor resistencia relativa (hasta 32% en D2 y D7) frente a la muestra patrón D1 (21%), evidenciando menor deterioro. A 1200 °C, D1 y D2 alcanzan 0%, indicando falla total, mientras que las mezclas con fibras conservan resistencia residual (7%–13%), como D5 (13%) y D3 (11%).

Es decir, la dosificación patrón se desintegra (0.00 MPa), mientras que mezclas con fibras mantienen valores como 6.69 MPa (D3) y 5.37 MPa (D5). Esto demuestra que la combinación AEA + fibras facilita la liberación de presión interna, reduce el *spalling* y mejora la integridad del material a altas temperaturas, en consecuencia, se concluye que la hipótesis es verdadera

CAPÍTULO IV.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

A. Conclusiones

- La combinación de aditivo aireante y fibras permitió reducir la pérdida de masa, disminuir el *spalling* y mantener resistencia residual, mejorando el comportamiento del hormigón frente a temperaturas extremas.
- El *spalling* fue más severo en la dosificación patrón, con desagregación y degradación completa a 1200 °C, mientras que las mezclas con AEA y fibras mostraron menor daño y conservaron integridad parcial.
- Tanto el agregado fino como el agregado grueso resultaron ser los óptimos para ser utilizados en hormigones de alta resistencia, al alcanzar una resistencia a la compresión promedio de la mezcla patrón a los 28 días de curado de 83.55 Mpa. Además, se evidenció en las siguientes mezclas una disminución de resistencia promedio del 28 % con respecto al patrón, debido al contenido de poros inducido por el aditivo aireante.
- El incremento de temperatura provocó una pérdida progresiva de masa, alcanzando 20.2% en la dosificación patrón (D1) a 1200 °C, mientras que las mezclas modificadas redujeron la pérdida hasta 11.2% (D7), evidenciando mejor comportamiento térmico.

- La resistencia a la compresión aumentó a 100 °C, alcanzando hasta 136% en D4, pero disminuyó a partir de 300 °C, llegando a valores entre 21% y 32% a 700 °C, debido a la degradación de la microestructura.
- A 1200 °C, el hormigón patrón y la mezcla con solo AEA al 0.03% presentaron falla total, mientras que las mezclas con fibras conservaron resistencia residual entre 4.62 MPa y 6.69 MPa (7%–13%), destacándose D3 y D5.

B. Recomendaciones

- Se recomienda usar fibras de polipropileno sin la adición de aditivo incorporador de aire para futuras investigaciones, ya que las fibras ante altas temperaturas canalizan el escape de vapor sin comprometer demasiado la resistencia a la compresión.
- Implementar un sistema de enfriamiento que replique fielmente la presencia de aspersores ante un incendio real en edificaciones.
- Hacer uso de materiales que sirvan como recubrimientos térmicamente resistentes (mallas metálicas, camisas delgadas de acero o envoltentes refractarias) durante la exposición de las probetas en el horno a temperaturas superiores a 700 °C, con el fin de controlar la proyección de fragmentos generados por el fenómeno de spalling explosivo.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Global Cement & Concrete Association, «GCCA – Global Cement & Concrete Association,» 10 Octubre 2023. [En línea]. Available: <https://gccassociation.org/>. [Último acceso: 18 Noviembre 2025].
- [2] UNACEM Ecuador, «UNACEM Ecuador,» 5 Marzo 2024. [En línea]. Available: <https://unacem.ec/>. [Último acceso: 18 Noviembre 2025].
- [3] Secretaría Nacional de Gestión de Riesgos, « Secretaría Nacional de Gestión de Riesgos,» 27 Septiembre 2024. [En línea]. Available:

- <https://www.gestionderiesgos.gob.ec/incendios-forestales-2024/>. [Último acceso: 24 Noviembre 2025].
- [4] Primicias, «Primicias,» 5 Octubre 2024. [En línea]. Available: <https://www.primicias.ec/sociedad/incendios-riesgos-eventos-ecuador-79939/>. [Último acceso: 24 Noviembre 2025].
- [5] Cuerpo de Bomberos de Ambato, «Cuerpo de Bomberos de Ambato,» 30 Agosto 2024. [En línea]. Available: <https://bomberosambato.gob.ec>. [Último acceso: 24 Noviembre 2025].
- [6] A. M. Naudín López, «Mecanismos resistentes del hormigón reforzado con fibras en su comportamiento frente al spalling,» Valencia, 2014.
- [7] P. Helene, C. Britez y M. Carvalho, «Ações e efeitos deletérios do fogo em estruturas de concreto. Uma breve revisão,» *Revista ALCONPAT*, vol. 10, nº 1, pp. 1-17, 2020.
- [8] D. Lázaro, J. Crespo, E. Puente, O. Abreu y D. Alvear, «Modelo hidrotérmico de hormigones para calcular la presión de los poros a temperaturas elevadas,» *Revista Internacional de Métodos Numéricos para Cálculo y Diseño en Ingeniería*, vol. 31, nº 3, pp. 1-2, 2015.
- [9] M. Y, «Comparison between hydraulic and thermal spalling in heated concrete based on numerical modeling,» *Journal of Engineering Mechanics*, vol. 133, nº 6, pp. 608-615, 2007.
- [10] R. Jansson, «Material properties related to fire spalling of concrete,» Suecia, 2008.
- [11] A. Melvin, «Compressive strength of concrete at temperatures to 1600 °F,» *American Concrete Institute, Special Publication*, vol. 25, pp. 33-58, 1971.
- [12] E. S. García, «ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES RESIDUALES DE UN HORMIGÓN AUTOCOMPACTANTE DE ALTA RESISTENCIA

REFORZADO CON FIBRAS DE POLIPROPILENO SOMETIDO A ALTAS TEMPERATURAS,» Sevilla, 2015.

- [13] Y. Chen, «How Air Voids Affect the Performance of Concrete Subjected to Fire,» Washington, 2019.
- [14] ASTM International, ASTM E119-20: Standard Test Methods for Fire Tests of Building Construction and Materials, Washington: ASTM International, 2020.
- [15] J. Holan, J. Novák y R. Stefan, «Air-entrainment as an alternative to polypropylene fibers and its effect on the compressive strength of concrete at high temperatures,» de *Fibre Concrete 2019*, Praga, 2019.
- [16] K. Zalegowski, «Pore Structure Influence on Properties of Air-Entrained Concrete,» *Materials*, vol. 18, nº 2885, 18 June 2025.
- [17] P. Ogrodnik, A. Powezka y B. Zegardlo, «Modification of Refractory Concretes with Aeration,» *Recycling*, vol. 3, nº 30, pp. (1-15), 2018.
- [18] ACI 211.4R-08, «Guide for Selecting Proportions for High-Strength Concrete Using Portland Cement and Other Cementitious Materials,» Farmington Hills, 2008.
- [19] NTE INEN 156, *Cemento Hidráulico. Determinación de la densidad*, 2009.
- [20] NTE INEN 696, *Áridos: Análisis granulométrico en los áridos fino y grueso*, Quito, 2011.
- [21] NTE INEN 856, «Áridos. Determinación de la densidad, densidad relativa y absorción del árido fino,» Quito, 2010.
- [22] NTE INEN 857, «ÁRIDOS. DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD, DENSIDAD RELATIVA (GRAVEDAD ESPECÍFICA) Y ABSORCIÓN DEL ÁRIDO GRUESO,» Quito, 2010.

- [23] NTE INEN 858, «Áridos. Determinación de la masa unitaria (peso volumétrico) y el porcentaje de vacíos,» Quito, 2010.
- [24] NTE INEN 860, «ÁRIDOS. DETERMINACIÓN DEL VALOR DE LA DEGRADACIÓN DEL ÁRIDO GRUESO DE PARTÍCULAS MENORES A 37.5 mm MEDIANTE EL USO DE LA MÁQUINA DE LO ÁNGELES,» Quito, 2011.
- [25] NTE INEN 862, «ÁRIDOS PARA HORMIGÓN. DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO TOTAL DE HUMEDAD,» Quito, 2011.
- [26] SERVICIO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN, «NTE INEN 3124 "HORMIGÓN. ELABORACIÓN Y CURADO DE ESPECÍMENES DE ENSAYO EN EL LABORATORIO",» Quito, 2017.
- [27] ASTM International, «ASTM E119. Standard Test Methods for Fire Tests of Building Construction and Materials,» 2022. [En línea]. Available: <https://store.astm.org/standards/e119>. [Último acceso: Marzo 2026].
- [28] American Institute of Steel Construction (AISC), «Design Guide 19: Fire Resistance of Structural Steel Framing,» Chicago, Estados Unidos, 2003.
- [29] International Organization for Standardization, «ISO 834-1: Fire-resistance tests — Elements of building construction — Part 1: General requirements,» International Organization for Standardization, Geneva, 1999.
- [30] F. R. Ruvalcaba y M. Covarrubias Navarro, «La ingeniería estructural de fuego: un enfoque nacional y ejemplo de aplicación,» *Ingeniería, Investigación y Tecnología*, vol. 18, n° 3, pp. 253-264, 2017.
- [31] F. Varona, F. Baeza y S. Ivorra, «Estudio de las propiedades mecánicas residuales de hormigones expuestos a altas temperaturas,» *Hormigón y Acero*, vol. 69, n° 286, 2018.

- [32] M. Lee, W. Wang, Y. Wang, Y. Hsieh y T. Huang, «Preliminary Study of Fire Damage on Pervious Concrete with Silica Fume and Steel Fiber,» *Key Engineering Materials*, vol. 880, pp. 155-160, 2021.
- [33] H. Bian, K. Hannawi, M. Takarli, . L. Molez y W. Prince, «Effects of thermal damage on physical properties and cracking behavior of ultra-high-performance fiber-reinforced concrete,» *Journal of Materials Science*, vol. 51, nº 22, 2016.
- [34] D. M. Días, J. L. Calmon y G. L. Vieira, «Hormigón reforzado con fibras poliméricas expuesto al fuego,» *Revista ALCONPAT*, vol. 10, nº 1, pp. 63-52, 2020.
- [35] Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEN), «Hormigón de cemento hidráulico». Determinación de la resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos de hormigón de cemento hidráulico, Quito, 2010.
- [36] NTE INEN 872, *Áridos para Hormigón. Requisitos*, QUITO, 2011.
- [37] S. Hachemi, A. Ounis y S. Chabi, «Evaluating Residual Mechanical and Physical Properties of Concrete at Elevated Temperatures,,» *International Journal of Industrial and Manufacturing Engineering*, vol. 8, nº 2, 2014.
- [38] W. Khaliq y F. Waheed, «Mechanical response and spalling sensitivity of air entrained high-strength concrete at elevated temperatures,» *Construction and Building Materials*, vol. 150, 2017.
- [39] V. Kodur y M. Sultan, «Effect of Temperature on Thermal Properties of High-Strength Concrete,» *Journal of Materials in Civil Engineering*, vol. 15, nº 2, 2003.
- [40] 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, nº 286, pp. 235-241, 2018.

- [41] 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, nº 286, pp. 235-241, 2018.
- [42] J. Zhang, Y. Su, Y. Xiong, J. He, Q. Xu y H. Gao, «Influence of foam content on mechanical properties and thermal conductivity of ceramsite foam concrete,» *Scientific Reports*, vol. 15, nº 1, pp. 1-19, Mayo 2025.
- [43] ASTM C188, «Standard Test Method for Density of Hydraulic Cement,» 2009. [En línea]. Available: www.astm.org. [Último acceso: 23 Marzo 2026].
- [44] ASTM C136, «Standard Test Method for Sieve Analysis of Fine and Coarse Aggregates,» 2006. [En línea]. Available: www.astm.org. [Último acceso: Marzo 2026].
- [45] Servicio Ecuatoriano de Normalización, «Hormigón. Elaboración y curado de especímenes de ensayo en el laboratorio,» Quito, 2017.
- [46] A. M. M. Estrada, «ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO A FLEXIÓN DEL HORMIGÓN REFORZADO CON FIBRAS PLÁSTICAS (POLIPROPILENO) DESPUÉS DE LAS ALTAS TEMPERATURAS,» Ambato, 2023.

ANEXOS

Anexo 1: Ficha Técnica del Aditivo Superplastificante



We create chemistry

MasterGlenium® 7955

Aditivo retenedor de asentamiento - súper plastificante / reductor de agua de alta actividad de nueva generación.

Descripción del producto

MasterGlenium 7955 es un aditivo reductor de agua de alto rango de nueva generación basado en la tecnología de Policarboxilatos. Es muy efectivo para producir mezclas de concreto con diferentes niveles de trabajabilidad y retención de asentamiento, incluyendo aplicaciones que requieren el uso de concreto autonivelantes. Cumple con los requisitos de la norma ASTM C494 para aditivos tipo A, reductores de agua y tipo F, aditivos reductores de agua de alto rango.

Campo de aplicación

- Concretos donde se requieran reducciones de agua del 5% al 40%.
- Concretos donde se requieran tiempos de fraguado normal.
- Concretos con alta fluidez y gran durabilidad.
- Concretos donde se requieran elevados resistencias mecánicas y acabados superiores.
- En la producción de mezclas de concreto autonivelantes.
- En la producción de mezclas de concreto que requieran aumentar la retención de asentamiento.
- Muy efectivo para mezclas de concreto con asentamientos de medio rango (150 a 200 mm), como en concretos de flujo libre.

Características y beneficios

- Contenido de agua reducido para un nivel dado de trabajabilidad.
- Reducción de agua de tipo lineal en todo el rango de dosificación.
- Se puede utilizar en mezclas de concreto que requieran aditivos tipo A o F.
- Reología controlada.
- Se obtienen concretos cohesivos y sin segregación.

MasterGlenium 7955 ayuda a la producción de

un concreto de calidad proporcionando las siguientes ventajas especiales:

- Mejora la resistencia y durabilidad del concreto.
- Mejores características de acabado en pisos y en cualquier aplicación donde se utilicen encofrados deslizantes.
- Reducción de la necesidad de vibración.
- **MasterGlenium 7955** resulta efectivo ya sea como un aditivo único o como parte de un sistema de aditivos de **BASF**.
- Incremento en el desarrollo de las resistencias a la compresión y a la flexión en todas las edades.
- Beneficios económicos para todo el equipo de construcción, con mayor productividad y reducción de los costos variables.
- Reducción de contracciones y aumenta la vida útil de las estructuras.
- Reduce el contenido de agua para un asentamiento dado y reduce la segregación.
- Excelente desempeño en concretos proyectados por su alto poder de reducción de agua.

Presentación

MasterGlenium 7955 está disponible en tambores de 208 L, IBC de 1.000 L y a granel. Datos técnicos*

Desempeño

El asentamiento del concreto con aditivo **MasterGlenium 7955** se mantiene por más tiempo que el de los concretos tratados con aditivos reductores de agua de alto rango convencionales. Al combinar **MasterGlenium 7955** con aditivos retardantes o con el aditivo MasterSet® Delvo, se puede incrementar la retención del asentamiento del concreto. Se recomienda realizar pruebas de campo para asegurar que se puede mantener el asentamiento deseado por un tiempo específico.

MASTER®
>>BUILDERS
SOLUTIONS



We create chemistry

Recomendaciones de Uso

Dosificación:

La dosis recomendada del aditivo **MasterGlenium 7955** es de 150 a 1200 ml/100 kg de material cementante (0.1% - 1.2% del peso del material cementante), para la mayoría de mezclas de concreto. Se pueden utilizar dosificaciones fuera del rango recomendado por variaciones en los materiales del concreto, condiciones de campo o aplicaciones, en estos casos se recomienda contactar a su representante local de BASF.

Mezclado:

Para mayor tiempo de trabajabilidad se recomienda añadir el aditivo **MasterGlenium 7955** al agua de mezcla inicial.

Corrosividad:

El aditivo **MasterGlenium 7955** no iniciará ni promoverá la corrosión del acero de refuerzo embebido en el concreto o en concreto pre esforzado o pos tensado. **MasterGlenium 7955** no contiene cloruros.

Compatibilidad:

MasterGlenium 7955 es compatible con la mayoría de los aditivos usados en la producción de concreto, incluyendo aditivos de agua reductores de agua de rango normal, medio y alto, Incluidores de aire, Acelerantes, retardantes, aditivos de control del tiempo de fraguado, inhibidores de corrosión y reductores de retracción.

Almacenamiento y Manipulación

MasterGlenium 7955 debe almacenarse a temperaturas por encima de 2°C. Si se almacena a temperaturas por encima de 43°C se puede requerir recirculación. Si el aditivo **MasterGlenium 7955** se congela, llévese a una temperatura de 2°C o más, y agítase mecánicamente hasta que esté completamente reconstituido. No use aire a presión para agitarlo.

La aplicación adecuada del producto es responsabilidad del usuario. Toda visita de campo realizada

por el personal de BASF tiene como fin único el hacer recomendaciones técnicas y no el supervisar o proporcionar control de calidad en el lugar de la obra.

Vida útil

La vida útil de **MasterGlenium 7955** es de 12 meses como mínimo, si se mantiene en su envase original cerrado y almacenado en un sitio fresco y seco. La vida útil puede ser mayor a la estipulada. Por favor entre en contacto con su representante de ventas de BASF para obtener recomendaciones con relación al uso y dosificación adecuados en caso que el producto haya excedido su vida útil.

Precauciones de seguridad

"Para mayor información, consulte la Hoja de Datos de Seguridad (MSDS) o a su representante local **BASF** o llame a las líneas de emergencia locales de Cisproquim y/o **BASF** que se encuentran al final del catálogo".

MASTER®
>> BUILDERS
SOLUTIONS

Anexo 2: Ficha técnica del aditivo incorporador de aire.

Hoja Técnica
014-2015

1/2

Airbeton

Inclutor de Aire.

DESCRIPCION

Aditivo líquido que al mezclarse con el hormigón produce burbujas de aire microscópicas.

DATOS TECNICOS

Densidad (g/cm³): 1.01 ± 0.01

pH: 6 a 7

No contiene cloruros.

Líquido de color pardo.

Cumple los requerimientos de la norma ASTM C-260

USOS

- Ideal para hormigones en masa.
- Para producir hormigones de la más alta calidad estructural, tanto en hormigón normal como liviano.
- Hormigones expuestos a ciclos de humedecimiento y secados severos o en otras condiciones extremas como; frigoríficos, zonas expuestas a subida y bajada de mareas, ambientes marinos o en contacto con agua de mar, etc.
- Para mejorar la trabajabilidad a las mezclas.

MODO DE EMPLEO

- Agregar AIRBETON a la parte final del agua de la mezcla mediante un dosificador automático o manualmente.
- En hormigones premezclados dosificar el aditivo en obra.
- Nunca añadir directamente al cemento o a los agregados secos.

DOSIFICACION

- Use del 0.03% al 0.10% del peso del cemento (15cc a 50cc por cada saco de 50 kg de cemento) dependiendo de la cantidad de aire que se desea incluir.
- La cantidad de aire incluido puede variar entre el 3% al 6%



EMPRESA CERTIFICADA ISO 9001:2008

ADITEC ECUADOR

Durán.- Vía Durán Tambo Km 5, Solar 3, Área Industrial Las Brisas - PBX: (04) 602 6090 – 602 6089
Quito.- Nazareth, OEI – 166 y Melchor Toaza - PBX: (02) 280 4400 – 280 8776

ADITEC REP. DOMINICANA

Santo Domingo.- Av. Charles Summer (esq) Ludovino Fernández N° 11, Urb. Fernández,
telf. 809 328 0202

Web: www.aditec-ec.com - e-mail: servicio@aditec-ec.com



Responsible Care®
OUR COMMITMENT TO SUSTAINABILITY

Hoja Técnica
014-2015

2/2

BENEFICIOS

- Reduce la permeabilidad, logrando hormigones resistentes a las aguas agresivas y a las sales marinas.
- Mejora la plasticidad y la trabajabilidad.
- Incrementa la resistencia al descascaramiento.
- Reduce la segregación y exudación.
- Aumenta la resistencia a los ciclos de hielo y deshielo.

RECOMENDACIONES

- La dosis óptima se debe determinar mediante ensayos, con los materiales y en las condiciones de la obra y debe ser considerado el aire incorporado por el cemento, agregados y otros ingredientes.
- AIRBETON puede ser usado en combinación con cualquiera de nuestros aditivos, siempre que la adición a la mezcla se realice por separado.

PRECAUCIONES

En caso de contacto con la piel o los ojos lavar con abundante agua.

PRESENTACION

Envase plástico de 20kg.

ALMACENAMIENTO

Un año en el envase original bien cerrado, en sitio fresco y bajo techo.

CODIGOS R Y S:

R22 - S2/S20
HT - 014 - 2015

ADITEC ECUATORIANA Cía. Ltda. mantiene la alta calidad de sus productos y procesos, pero no asume responsabilidad alguna por los resultados que se obtengan como consecuencia de su empleo incorrecto o en condiciones que no estén bajo su control directo.



ADITEC ECUADOR

Durán.- Vía Durán Tambo Km 5, Solar 3. Área Industrial Las Brisas - PBX: (04) 602 6090 – 602 6089
Quito.- Nazareth OBI – 166 y Melchor Toaza - PBX: (02) 280 4400 – 280 8776

ADITEC REP. DOMINICANA

Santo Domingo.- Av. Charles Summer (esq) Ludovino Fernández N° 11, Urb. Fernández,
telf. 809 328 0202

Web: www.aditec-ec.com - e-mail: servicio@aditec-ec.com



Anexo 3: Ficha Técnica de las Macrofibras de Polipropileno

CONCRETE FIBERS
Master Format #: 03 24 00

TUF-STRAND™ SF

SYNTHETIC MACROFIBER



EUCLID CHEMICAL

PRODUCT INFORMATION

PACKAGING
3.0 lb (1.36 kg), 4.0 lb (1.81 kg), 5.0 lb (2.27 kg) and 7.5 lb (3.4 kg) water soluble bags

SHELF LIFE
3 years in original, unopened package

SPECIFICATIONS/COMPLIANCES
ASTM C1116
ASTM D7508
IBC 2015 SDI/ANSI-C1.0
ICC AC308 (ESR4072)
UL/ULC (CBXQ.R13773)

TECHNICAL INFORMATION
Material: Polypropylene/polyethylene

Specific Gravity: 0.92

Typical Dosage Rates:
3.0 to 20.0 lbs/yd³ (1.8 to 12.0 kg/m³)

Available Lengths: 2" (51 mm)

Aspect Ratio: 74

Tensile Strength:
87-94 ksi (600 to 650 MPa)

Modulus of Elasticity (EN 14889.2):
1380 ksi (9.5 GPa)

Melt Point: 320°F (160°C)

Electrical/Thermal Conductivity: Low

Water Absorption: Negligible

Acid and Alkali Resistance: Excellent

Color: White

GWP Value: 3.08 kg CO₂eq/kg

DESCRIPTION

TUF-STRAND SF is a patented polypropylene and polyethylene synthetic macrofiber successfully used to replace steel fibers, welded wire mesh and conventional reinforcing bars in a wide variety of applications. TUF-STRAND SF fibers comply with ASTM C1116, Standard Specification for Fiber Reinforced Concrete and Shotcrete, and are specifically designed to provide equivalent tensile and bending resistance to conventional reinforcement requirements. Concrete reinforced with TUF-STRAND SF will have three-dimensional reinforcing with enhanced flexural toughness, impact and abrasion resistance and will also help mitigate the formation of plastic shrinkage cracking in concrete. Dosage rates will vary depending upon the reinforcing requirements and can range from 3.0 to 20.0 lbs/yd³ (1.8 to 12.0 kg/m³). TUF-STRAND SF synthetic macrofibers comply with the International Code Council (ICC) Acceptance Criteria AC308 for synthetic fibers, are UL certified for composite metal deck construction and are recognized within ACI 360 and IBC 2015 as an alternative reinforcement.

PRODUCT CHARACTERISTICS

FEATURES & BENEFITS

- Equivalent strengths to WWM and rebar provided by engineering calculations
- Controls and mitigates plastic shrinkage cracking and reduces segregation and bleed-water
- Provides three-dimensional reinforcement against micro and macro-cracking
- Reduces equipment wear, fiber rebound and increases build-up thickness compared to steel fibers for shotcrete applications
- Increases overall concrete durability, fatigue resistance and flexural toughness
- Reduction of in-place cost versus wire mesh
- Easily added to concrete mixture at any time prior to placement
- Applicable for design by ACI 332, ACI 360 and ACI 544
- Tested in accordance with ASTM C1609, ASTM C1550 and EN 14651
- Certified for use by UL/ULC for D900 and F900 Series metal deck assemblies as alternate to WWM (CBXQ.R13773)
- Reduction of carbon footprint (CO₂eq) compared to conventional reinforcement

PRIMARY APPLICATIONS

- Slabs-on-Ground: Parking lots, sidewalks, distribution centers, warehouses, industries, decorative concrete
- High performance floors with extended joint spacing
- Thin walled precast (septic tanks, vaults, walls, etc.)
- Shotcrete for tunnel linings, pool construction and slope stabilization
- Whitetoppings, bridge decks and concrete pavements
- Residential poured and ICF walls
- Elevated construction, composite metal decks

19215 Redwood Road • Cleveland, OH 44110 • 800-321-7628

www.euclidchemical.com

PRECAUTIONS/LIMITATIONS

- Use of fibers may cause an apparent loss in measured slump of concrete. This may be offset with the use of a water reducing admixture if necessary.
- Fibers should never be added to a "zero-slump" concrete. Ensure a minimum concrete slump of 3" (80 mm) prior to addition of any fiber material. Fibers may also be added in loose form to aggregate charging devices.
- In all cases, consult the Safety Data Sheet before use.

DIRECTIONS FOR USE

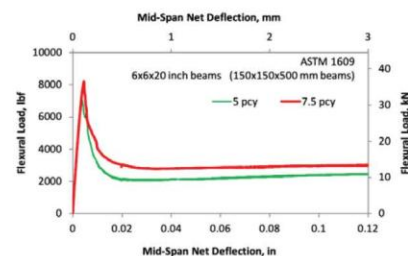
TUF-STRAND SF fibers can be added to the concrete mixture at any time prior to placement of the concrete. It is generally recommended to add any fiber material at the ready-mix concrete plant during batching. Fibers must be mixed with concrete for a minimum of three (3) to five (5) minutes at maximum mixing speed, depending on the mixer type, to ensure complete dispersion and uniformity. When adding up to 5.0 lbs/yd³ (3.0 kg/m³), a slump loss of up to 2" (50 mm) can be expected for a typical ready-mix concrete design. For higher dosages, increased loss in slump can be expected depending upon the mixture design. The use of water reducers and/or superplasticizers, such as the Eucon series or the Plastol series of admixtures may be necessary to maintain desired workability.

Add other admixtures independently from fiber addition. TUF-STRAND SF is compatible with all Euclid Chemical admixtures. When used properly, and placed in a concrete mix of sufficient workability, the fibers will not adversely alter the compressive or flexural strength of concrete or shotcrete.

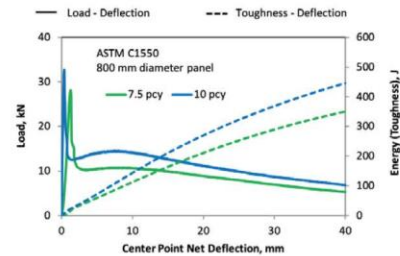
For further recommendations please consult Euclid Chemical Technical Bulletins at www.euclidchemical.com.

PERFORMANCE

Fiber-reinforced concrete (FRC) is characterized by standard test methods such as ASTM C1399, C1609, and C1550 or RILEM TC162 (EN14651). The flexural residual strength of FRC is measured using these beam tests and is used for design purposes with proper conversion factors. Typical test results for ASTM C1609 and EN14651 (FRC beams) and C1550 (FRC round panels) are shown for TUF-STRAND SF macro synthetic fiber tested at different dosage rates. These test results could vary with mix design and curing conditions. For additional or specific test results in concrete, please contact Euclid Chemical.



ASTM C1609	A ₃		f _r		f ₃		fe ₃		Re ₃
Dosage	lbf-in	N-m	psi	MPa	psi	MPa	psi	MPa	%
5 lb/yd ³ (3 kg/m ³)	298	33.6	588	4.0	206	1.4	207	1.4	35
7.5 lb/yd ³ (4.4 kg/m ³)	375	42.4	684	4.7	250	1.7	260	1.6	38



ASTM C1550	Corrected Energy Absorption, W Joules (J) at given deflection, mm				
Dosage	5	10	20	30	40
7.5 lb/yd ³ (4.4 kg/m ³)	60	115	215	295	356
10 lb/yd ³ (5.9 kg/m ³)	73	147	276	376	454

CLEAN UP

Loose fiber material may be disposed in proper receptacles for refuse. Finishing equipment with fibers embedded in concrete should be thoroughly cleaned.

Rev. 03.23

WARRANTY: The Euclid Chemical Company ("Euclid") solely and expressly warrants that its products shall be free from defects in materials and workmanship for one (1) year from the date of purchase. Unless authorized in writing by an officer of Euclid, no other representations or statements made by Euclid or its representatives, in writing or orally, shall alter this warranty. EUCLID MAKES NO WARRANTIES, IMPLIED OR OTHERWISE, AS TO THE MERCHANTABILITY OR FITNESS FOR ORDINARY OR PARTICULAR PURPOSES OF ITS PRODUCTS AND EXCLUDES THE SAME. If any Euclid product fails to conform with this warranty, Euclid will replace the product at no cost to Buyer. Replacement of any product shall be the sole and exclusive remedy available and buyer shall have no claim for incidental or consequential damages. Any warranty claim must be made within one (1) year from the date of the claimed breach. Euclid does not authorize anyone on its behalf to make any written or oral statements which in any way alter Euclid's installation information or instructions in its product literature or on its packaging labels. Any installation of Euclid products which fails to conform with such installation information or instructions shall void this warranty. Product demonstrations, if any, are done for illustrative purposes only and do not constitute a warranty or warranty alteration of any kind. Buyer shall be solely responsible for determining the suitability of Euclid's products for the Buyer's intended purposes.

Anexo 4: Densidad del Cemento

ENSAYO: DENSIDAD REAL DEL CEMENTO	
Origen:	Cantera de Baños
Fecha:	17/02/2026
Ensayado por:	Bryan Daniel Yanzaguano Toainga
Norma:	INEN 156

**INFLUENCIA DE ADITIVO AIREANTE COMBINADO CON MACROFIBRAS DE POLIPROPILENO EN
HORMIGONES DE ALTA RESISTENCIA FRENTE AL SPALLING.**

	Descripción	Muestra	Unidad
A	Masa del Frasco de Le Chatelier + Gasolina	324.60	g
B	Lectura del Volumen Inicial	0.50	ml
C	Masa del frasco de Le Chatelier + gasolina + cemento	392.50	g
D	Lectura del Volumen Final	23.20	ml
	Densidad del cemento ((C-A) / (D-B))	2.99	g/cm ³

Anexo 5: Análisis Granulométrico del agregado fino

ENSAYO: ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO EN EL ÁRIDO FINO			
Origen:	Cantera de Baños		
Fecha:	24/02/2026		
Ensayado por:	Bryan Daniel Yanzaguano Toainga		
Norma:	NTE INEN 696 / ASTM C 136		
Muestra (g)	864.6	Pérdida de la muestra:	0.10%

**INFLUENCIA DE ADITIVO AIREANTE COMBINADO CON MACROFIBRAS DE POLIPROPILENO EN
HORMIGONES DE ALTA RESISTENCIA FRENTE AL SPALLING.**

AGREGADO FINO

Descripción	Abertura (mm)	Peso retenido (g)	Retenido %	%	%	LÍMITES ESPECÍFICOS	
				Retenido acumulado	PASA	INFERIOR	SUPERIOR
3/8"	9.525	0.00	0.00	0.00	100.00	100	100

No. 4	4.76	39.60	4.58	4.58	95.42	95	100
No. 8	2.36	139.70	16.17	20.76	79.24	80	95
No. 16	1.18	166.20	19.24	40.00	60.00	50	85
No. 30	0.6	194.40	22.51	62.51	37.49	25	60
No. 50	0.3	174.70	20.23	82.74	17.26	5	30
No. 100	0.15	79.20	9.17	91.91	8.09	0	10
No. 200	0.075	60.90	7.05	98.96	1.04	0	3
BANDEJA		9.00	1.04	100.00	0.00	-	-
TOTAL		864	100	Módulo de finura		3.03	

Anexo 6: Análisis Granulométrico del Agregado Grueso

ENSAYO: ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO EN EL ÁRIDO GRUESO							
Origen:			<i>Cantera de Baños</i>				
Fecha:			25/02/2026				
Ensayado por:			<i>Bryan Daniel Yanzaguano Toainga</i>				
Norma:			NTE INEN 696 / ASTM C 136				
Muestra (g)	6475	Pérdida de la muestra:		0.07%			

INFLUENCIA DE ADITIVO AIREANTE COMBINADO CON MACROFIBRAS DE POLIPROPILENO EN HORMIGONES DE ALTA RESISTENCIA FRENTE AL SPALLING.

AGREGADO GRUESO							
Descripción	Abertura (mm)	Peso retenido (g)	Retenido %	%	%	LÍMITES ESPECÍFICOS	
				Retenido acumulado	PASA	INFERIOR	SUPERIOR
1 1/2"	37.500	0.00	0.00	0.00	100.00	-	-
1 in	25	0.00	0.00	0.00	100.00	100	100
3/4 in	19	0.00	0.00	0.00	100.00	90	100
1/2 in	12.5	3990.50	61.67	61.67	38.33	20	55
3/8 in	9.5	2248.50	34.75	96.42	3.58	0	15
No 4	4.75	223.50	3.45	99.88	0.12	0	5
FONDO		8.00	0.12	100.00	0.00	-	-
TOTAL		6471	100	Módulo de finura		3.58	

Anexo 7: Densidad Real y Capacidad de Absorción del Agregado Fino

ENSAYO: DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD, DENSIDAD RELATIVA Y ABSORCIÓN DEL ÁRIDO FINO				
Origen:	Cantera de Baños			
Fecha:	24/02/2026			
Ensayado por:	Bryan Daniel Yanzaguano Toainga			
Norma:	INEN 856			
INFLUENCIA DE ADITIVO AIREANTE COMBINADO CON MACROFIBRAS DE POLIPROPILENO EN				
Descripción	Símbolo	Masa	Unidad	Temperaturas
Masa de la Muestra Saturada Superficialmente Seca (SSS)	[S]	503.00	g	Temperatura de [C]
Masa del Picnómetro + Muestra + Agua hasta la marca de Calibración (500 ml)	[C]	1008.15	g	22.50
Masa del Picnómetro + Agua	[B]	681.10	g	Temperatura de [B]
Masa de la Muestra seca al Horno (SH)	[A]	488.00	g	21.00
CÁLCULOS				
DENSIDAD RELATIVA (GRAVEDAD ESPECÍFICA)		DENSIDAD		
SECADA AL HORNO		SECADA AL HORNO		
DRSH= A/ (B+S-C)	DRSH =	2.77	DRSH= 998.08* A/ (B+S-C)	D SH = 2768.19 kg/m³
SATURADA SUPERFICIALMENTE SECA (SSS)		SATURADA SUPERFICIALMENTE SECA (SSS)		
DRSSS= S/(B+S-C)	DRSSS =	2.86	DRSSS= 997.74 * S/(B+S-C)	D SSS = 2852.31 kg/m³
APARENTE		APARENTE		
DRA= A/ (B+A-C)	DRA =	3.03	DRA= 997.74 * A/ (B+A-C)	D A = 3025.15 kg/m³
PORCENTAJE DE ABSORCIÓN				
Absorción (%) = ((S-A) / A) *100		Absorción (%) =		3.07 %
GRAVEDAD ESPECIFICA DEL AGREGADO FINO DSSS				
2.85		gr/cm³		

Anexo 8: Densidad Real y Capacidad de Absorción del Agregado Grueso

ENSAYO: DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD, DENSIDAD RELATIVA Y ABSORCIÓN DEL ÁRIDO GRUESO					
Origen:			Cantera de Baños		
Fecha:			27/02/2026		
Ensayado por:			Bryan Daniel Yanzaguano Toainga		
Norma:			INEN 857		
INFLUENCIA DE ADITIVO AIREANTE COMBINADO CON MACROFIBRAS DE POLIPROPILENO EN HORMIGONES DE ALTA RESISTENCIA FRENTE AL SPALLING.					
REGISTRO DE LECURAS					
Descripción			Muestra 1		
B	1. Masa de la canastilla vacía		1175.50	g	
	2. Masa de la canastilla + ripio en estado SSS		3960.75	g	
	3. Masa en aire del ripio en estado SSS (2-1)		2785.25	g	
	4. Masa de la canastilla sumergida en agua		850.00	g	
	5. Masa de la canastilla + ripio sumergido en agua		2612.75	g	
C	6. Masa aparente del ripio sumergido en agua (5-4)		1762.75	g	
Árido secado al horno					
Descripción			Muestra 1		
	7. Masa del recipiente vacío		252.75	g	
	8. Masa del recipiente + ripio en estado seco		2996.00	g	
A	9. Masa en aire del ripio en estado seco		2743.25	g	
LECTURAS PROMEDIO					
DESCRIPCIÓN		SÍMBOLO	MASA	UNIDAD	TEMPERATURA
Masa en aire de la muestra saturada superficialmente		[B]	2785.25	g	T= 19 °C
Masa aparente en agua de la muestra saturada		[C]	1762.75	g	
Masa en aire de la muestra seca al horno		[A]	2743.25	g	
CÁLCULOS					
DENSIDAD RELATIVA (GRAVEDAD ESPECÍFICA)			DENSIDAD		
SECADA AL HORNO			SECADA AL HORNO		
DRSH= A/ (B-C)	DRSH =	2.68	DRSH= 998.49*A/ (B-C)	D SH =	2678.83 kg/m³
SATURADA SUPERFICIALMENTE SECA (SSS)			SATURADA SUPERFICIALMENTE SECA (SSS)		
DRSSS= B/(B-C)	DRSSS =	2.72	DRSSS= 998.49*B/(B-C)	D SSS =	2719.85 kg/m³
APARENTE			APARENTE		
DRA= A/ (A-C)	DRA =	2.80	DRA= 998.49*A/ (A-C)	D A =	2793.58 kg/m³
PORCENTAJE DE ABSORCIÓN					
Absorción (%) = ((B-A) / A) *100			Absorción (%) =		1.53 %
GRAVEDAD ESPECIFICA DEL AGREGADO GRUESO DSSS					
2.72			g/cm^3		

Anexo 9: Densidad Aparente Suelta y Compacta del Agregado Fino

ENSAYO: DENSIDAD APARENTE SUELTA Y COMPACTADA DEL AGREGADO FINO

Origen:	Cantera de Baños
Fecha:	10/03/2026
Ensayado por:	Bryan Daniel Yanzaguano Toainga
Norma:	INEN 858

INFLUENCIA DE ADITIVO AIREANTE COMBINADO CON MACROFIBRAS DE POLIPROPILENO EN HORMIGONES DE ALTA RESISTENCIA FRENTE AL SPALLING.

Masa del recipiente vacío =	3540.00	g	Masa del recipiente vacío =	3.54	kg
Volumen del recipiente =	2803.70	cm ³	Volumen del recipiente =	0.003	m ³
Material suelto + recipiente:			Material Compactado + recipiente:		
Lectura del ensayo 1:	8000.00	g	Lectura del ensayo 1:	8380.00	g
Lectura del ensayo 2:	8120.00	g	Lectura del ensayo 2:	8320.00	g
Lectura del ensayo 3:	7980.00	g	Lectura del ensayo 3:	8420.00	g
Promedio:	8033.33	g	Promedio:	8373.33	g
Masa del agregado grueso suelto =	4.49	kg	Masa del agregado grueso compactado =	4.83	kg
Densidad aparente suelta (Ms)			Densidad aparente compactada (Mc)		
Ms=	1602.64	Kg/m ³	Mc=	1723.91	Kg/m ³
	1.60	g/cm ³		1.72	g/cm ³

Anexo 10: Contenido de Humedad del Agregado Fino

ENSAYO: PORCENTAJE DE HUMEDAD DEL AGREGADO FINO

Origen:	Cantera de Baños
Fecha:	11/03/2026
Ensayado por:	Bryan Daniel Yanzaguano Toainga
Norma:	INEN 862

INFLUENCIA DE ADITIVO AIREANTE COMBINADO CON MACROFIBRAS DE POLIPROPILENO EN HORMIGONES DE ALTA RESISTENCIA FRENTE AL SPALLING.

Nomenclatura	Descripción	Unidad	Muestra 1	Muestra 2
m1	masa del recipiente	g	107.50	148.50
m2	masa del recipiente + muestra	g	912.48	937.20

m3=m2-m1	masa de la muestra	g	804.98	788.70
m4	masa del recipiente + muestra seca	g	869.50	899.50
m5=m4-m1	masa de la muestra seca	g	762.00	751.00
CH = ((m3-m5)/m5) *100	contenido de humedad	%	5.64	5.02
CHp	contenido de humedad promedio	%	5.33	

Anexo 11: Contenido de Humedad del Agregado Grueso

ENSAYO: PORCENTAJE DE HUMEDAD DEL AGREGADO GRUESO				
Origen:	Cantera de Baños			
Fecha:	11/03/2026			
Ensayado por:	Bryan Daniel Yanzaguano Toainga			
Norma:	INEN 862			
INFLUENCIA DE ADITIVO AIREANTE COMBINADO CON MACROFIBRAS DE POLIPROPILENO EN HORMIGONES DE ALTA RESISTENCIA FRENTE AL SPALLING.				
Nomenclatura	Descripción	Unidad	Muestra 1	Muestra 2
m1	masa del recipiente	g	158.00	158.00
m2	masa del recipiente + muestra	g	1799.00	1799.00
m3=m2-m1	masa de la muestra	g	1641.00	1641.00
m4	masa del recipiente + muestra seca	g	1790.50	1790.50
m5=m4-m1	masa de la muestra seca	g	1632.50	1632.50
CH = ((m3-m5)/m5) *100	contenido de humedad	%	0.52	0.52
CHp	contenido de humedad promedio	%	0.52	

Anexo 12: Dosificación de un hormigón de alta resistencia

Dosificación para un hormigón de alta resistencia				
Elaborado por:	Bryan Daniel Yanzaguano Toainga			
Fecha:	03/04/2026	Norma:	ACI 211 - 4R	
Datos del Ensayo				
f _c	65.00	Mpa	De Tablas	
f _{cr}	82.74	Mpa	W/C	0.26
Asentamiento	5 - 7.5	cm	% Aire	2.00
DRC	2.99	g/cm³	TNM	1/2 in
DRA	2.85	g/cm³		
DRR	2.72	g/cm³		
CÁLCULOS				
Porcentaje de Vacíos			39.53	%
Material	Cantidad por 1 m³ de concreto	Cantidad por saco de 50 kg	Unidad	Dosificación al peso
W	196.53	13.00	kg	0.26
C	755.90	50.00	kg	1.00
A	425.29	28.13	kg	0.56
R	1051.35	69.54	kg	1.39
WRWRA	7.56	0.50	kg	0.01
Nomenclatura				
f _c	Resistencia Requerida	W/C	Relación Agua/Cemento	
f _{cr}	Resistencia de Diseño	W	Contenido de agua	
DRC	Densidad Real del Cemento	A	Contenido de Arena	
DRA	Densidad real de la arena	C	Contenido de Cemento	

Fibra de polipropileno (g)		0.00	
Incorporador de aire (g)		0.00	
DOSIFICACIÓN (D2)			
Fibra de polipropileno (g)		0.00	
Incorporador de aire (g)		5.30	
DOSIFICACIÓN (D3)			
Fibra de polipropileno (g)		71.54	
Incorporador de aire (g)		5.30	
DOSIFICACIÓN (D4)			
Fibra de polipropileno (g)		0.00	
Incorporador de aire (g)		11.60	
DOSIFICACIÓN (D5)			
Fibra de polipropileno (g)		71.54	
Incorporador de aire (g)		11.60	
DOSIFICACIÓN (D6)			
Fibra de polipropileno (g)		23.85	
Incorporador de aire (g)		5.30	
DOSIFICACIÓN (D7)			
Fibra de polipropileno (g)		23.85	
Incorporador de aire (g)		11.60	
Nomenclatura			
C.A	Capacidad de absorción	W	Agua
C.H	Contenido de humedad de la muestra 24 h antes	A	Arena
C	Cemento	R	Ripio

Anexo 14: Datos recolectados sobre la pérdida de masa antes y después del horno

DIFERENCIA DE MASA A LOS 100 °C				
Dosificación	ANTES		DESPUÉS	
D1 (Patrón)	3.76	3.75	3.70	3.70
	3.73		3.68	
	3.77		3.72	
D2 (AEA 0.03%)	3.76	3.75	3.72	3.71
	3.74		3.70	
	3.74		3.71	
D3 (AEA 0.03%+PP3)	3.70	3.74	3.67	3.70
	3.84		3.78	
	3.69		3.65	

D4 (AEA 0.07%)	3.66	3.66	3.63	3.63
	3.70		3.67	
	3.63		3.59	
D5 (AEA 0.07%+PP3)	3.46	3.41	3.39	3.37
	3.36		3.35	
D6 (AEA 0.03%+PP1)	3.75	3.74	3.71	3.70
	3.76		3.70	
	3.72		3.69	
D7 (AEA 0.07%+PP1)	3.73	3.72	3.70	3.68
	3.70		3.68	
	3.74		3.67	

DIFERENCIA DE MASA A LOS 300 °C

CÓDIGO	ANTES		DESPUÉS	
D1 (Patrón)	3.90	3.80	3.69	3.49
	3.76		3.50	
	3.75		3.48	
D2 (AEA 0.03%)	3.86	3.81	3.53	3.45
	3.77		3.48	
	3.81		3.34	
D3 (AEA 0.03%+PP3)	3.67	3.63	3.46	3.37
	3.63		3.39	
	3.59		3.25	
D4 (AEA 0.07%)	3.69	3.70	3.39	3.40
	3.71		3.39	
	3.72		3.42	
D5 (AEA 0.07%+PP3)	3.47	3.50	3.23	3.22
	3.50		3.22	
	3.52		3.21	
D6 (AEA 0.03%+PP1)	3.74	3.70	3.53	3.44
	3.72		3.45	
	3.65		3.34	
D7 (AEA 0.07%+PP1)	3.76	3.81	3.49	3.52
	3.89		3.58	
	3.77		3.50	

DIFERENCIA DE MASA A LOS 700 °C

CÓDIGO	ANTES		DESPUÉS	
D1 (Patrón)	3.76	3.79	3.28	3.29
	3.88		3.28	
	3.75		3.30	
D2 (AEA 0.03%)	3.75	3.72	3.36	3.33
	3.76		3.38	

	3.64		3.24	
D3 (AEA 0.03%+PP3)	3.80	3.71	3.46	3.28
	3.70		3.28	
	3.64		3.27	
D4 (AEA 0.07%)	3.63	3.63	3.33	3.33
	3.68		3.36	
	3.57		3.29	
D5 (AEA 0.07%+PP3)	3.36	3.41	3.05	3.06
	3.41		3.10	
	3.45		3.05	
D6 (AEA 0.03%+PP1)	3.71	3.77	3.38	3.39
	3.84		3.50	
	3.76		3.30	
D7 (AEA 0.07%+PP1)	3.73	3.67	3.33	3.31
	3.65		3.38	
	3.62		3.21	
DIFERENCIA DE MASA A LOS 1200 °C				
CÓDIGO	ANTES		DESPUÉS	
D1 (Patrón)	3.72	3.71	2.96	2.96
	3.75		3.01	
	3.65		2.90	
D2 (AEA 0.03%)	3.59	3.59	2.97	2.98
	3.60		3.01	
	3.58		2.95	
D3 (AEA 0.03%+PP3)	3.82	3.77	3.25	3.13
	3.69		3.15	
	3.81		3.00	
D4 (AEA 0.07%)	3.66	3.66	3.28	3.24
	3.66		3.23	
	3.67		3.21	
D5 (AEA 0.07%+PP3)	3.52	3.51	3.14	3.10
	3.46		3.07	
	3.56		2.86	
D6 (AEA 0.03%+PP1)	3.73	3.77	3.22	3.31
	3.76		3.30	
	3.81		3.40	
D7 (AEA 0.07%+PP1)	3.71	3.68	3.28	3.26
	3.65		3.26	
	3.67		3.24	

Anexo 15: Resistencia a compresión a los días de curado a 20 °C

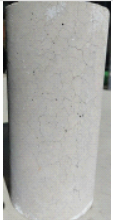
RESISTENCIA A COMPRESIÓN A LOS 20 °C		
Dosificación	Mpa	
D1 (Patrón)	90.46	83.55
	81.70	
	85.40	
D2 (AEA 0.03%)	61.93	61.54
	65.44	
	61.15	
D3 (AEA 0.03%+PP3)	62.60	61.70
	62.30	
	60.20	
D4 (AEA 0.07%)	60.50	60.67
	60.00	
	61.50	
D5 (AEA 0.07%+PP3)	39.60	39.80
	40.00	
	35.45	
D6 (AEA 0.03%+PP1)	67.64	66.06
	65.46	
	65.07	
D7 (AEA 0.07%+PP1)	65.40	63.70
	63.78	
	61.93	

Anexo 16: Resistencia a compresión a los días de curado a 100 °C, 300 °C, 700 °C y 1200 °C,

RESISTENCIA A COMPRESIÓN A LOS 100 °C			RESISTENCIA A COMPRESIÓN A LOS 300 °C		
Dosificación	Mpa		Dosificación	Mpa	
D1 (Patrón)	90.30	89.23	D1 (Patrón)	92.40	84.16
	86.10			75.91	
	91.30				
D2 (AEA 0.03%)	80.20	80.35	D2 (AEA 0.03%)	65.07	74.76
	80.50			84.44	
	70.65				
D3 (AEA 0.03%+PP3)	70.70	77.90	D3 (AEA 0.03%+PP3)	80.02	72.90
	78.00			65.78	
	77.80				
D4 (AEA 0.07%)	83.10	82.77	D4 (AEA 0.07%)	74.84	68.94
	85.20			51.71	
	80.00			68.94	
D5 (AEA 0.07%+PP3)	50.80	50.95	D5 (AEA 0.07%+PP3)	45.81	46.01
	51.10			49.39	
				46.20	
D6 (AEA 0.03%+PP1)	82.39	83.89	D6 (AEA 0.03%+PP1)	90.00	80.46
	85.39			70.92	
	72.91				
D7 (AEA 0.07%+PP1)	83.22	84.22	D7 (AEA 0.07%+PP1)	85.44	73.80
	85.22			62.15	
	73.18				
RESISTENCIA A COMPRESIÓN A LOS 700 °C			RESISTENCIA A COMPRESIÓN A LOS 1200 °C		
Dosificación	Mpa		Dosificación	Mpa	
D1 (Patrón)	21.78	17.67	D1 (Patrón)	0.00	0.00
	17.67			0.00	
	16.24			0.00	
D2 (AEA 0.03%)	13.67	19.86	D2 (AEA 0.03%)	0.00	0.00
	19.86			0.00	
	26.04			0.00	

D3 (AEA 0.03%+PP3)	16.36	16.36	D3 (AEA 0.03%+PP3)	6.65	6.69
	16.83			6.79	
	15.89			6.62	
D4 (AEA 0.07%)	16.37	17.52	D4 (AEA 0.07%)	6.24	5.35
	17.39			5.00	
	17.65			5.35	
D5 (AEA 0.07%+PP3)	10.02	9.81	D5 (AEA 0.07%+PP3)	5.65	5.37
	9.64			5.08	
	9.78				
D6 (AEA 0.03%+PP1)	19.79	20.16	D6 (AEA 0.03%+PP1)	5.10	4.62
	20.53			4.62	
				3.20	
D7 (AEA 0.07%+PP1)	19.70	20.45	D7 (AEA 0.07%+PP1)	5.38	5.35
	21.20			5.32	
				4.56	

Anexo 17: Propiedades Físicas después del horno de las probetas de hormigón

Dosificación	Temperatura °C			
	100	300	700	1200
D1 (Patrón)				
Con AEA (D2 - D4)				
Con Fibras PP (D3 - D5 - D6 - D7)				

Anexo 18: Probetas de hormigón en el horno al terminar su ciclo de temperatura



Anexo 19: Ensayo a Compresión de las muestras

