



UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA

FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA

CARRERA INGENIERÍA CIVIL

TEMA:

“EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DEL HORMIGÓN DE RESISTENCIA $F'_{C}=210$ KG/CM² CON DIFERENTES PORCENTAJES DE FIBRA DE ACERO”

TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

AUTOR (ES):

ERICK STEVEN GONZALEZ RAMIREZ

LISBETH ANDREA YAGUAL GONZABAY

TUTOR:

ING. RICHARD IVAN RAMIREZ PALMA, MS.c

LA LIBERTAD, ECUADOR

(2025)

UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA

FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

TEMA:

**EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO
DEL HORMIGÓN DE RESISTENCIA $F'C=210\text{KG/CM}^2$
CON DIFERENTES PORCENTAJES DE FIBRA DE ACERO**

TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

AUTORES:

ERICK STEVEN GONZALEZ RAMIREZ

LIBETH ANREA YAGUAL GONZABAY

TUTOR:

ING. RICHARD IVAN RAMIREZ PALMA, MS.c

LA LIBERTAD – ECUADOR

(2025)

TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN



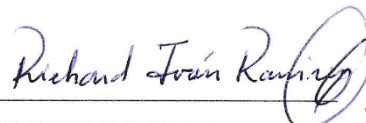
ING. LUCRECIA C. MORENO
ALCIVAR Ph.D
DIRECTORA DE LA CARRERA DE
INGENIERIA CIVIL



ING. RICHARD IVAN RAMIREZ
PALMA. MS.c
DOCENTE TUTOR



ING. LUIS PÉREZ PÁNCHEZ MS.c
DOCENTE ESPECIALISTA



ING. RICHARD IVAN RAMIREZ
PALMA. MS.c
DOCENTE UIC

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a Dios, por ser mi guía, fortaleza y la luz que me sostuvo en cada paso de este camino; a mis padres, por su amor incondicional, por inculcarme el valor del esfuerzo y apoyarme siempre con sabiduría y paciencia; a Nayeli, por su amor, comprensión y aliento constante, quien con su compañía me impulso a seguir adelante incluso en los momentos más difíciles; a mi compañera de tesis, Lisbeth, por su entrega, responsabilidad y apoyo incansable a lo largo de todo este proceso.

También a mis amigos y compañeros de universidad, por compartir experiencias, esfuerzos y alegrías que marcaron esta etapa de mi vida. Todos de una u otra forma, fueron parte fundamental de este logro que hoy celebro con gratitud y cariño.

Erick S. González Ramírez.

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a Dios, por ser mi guía constante, por darme la fortaleza en los momentos de dificultad y la sabiduría necesaria para alcanzar este logro.

A mi familia, el pilar más importante en mi vida. A mis padres, por su amor incondicional, su esfuerzo y los incontables sacrificios que han hecho para brindarme las oportunidades necesarias para alcanzar mis metas. Su ejemplo de trabajo y perseverancia ha sido mi mayor motivación para superarme día a día.

Dedico también este logro a mis verdaderos amigos, quienes compartieron conmigo largas jornadas de estudio, desvelos, risas y aprendizajes. Su amistad y apoyo me acompañaron durante esta etapa, haciéndola más llevadera y significativa.

A los docentes, quienes con paciencia y dedicación sembraron en mí el deseo de aprender, investigar y contribuir al desarrollo de la Ingeniería Civil. Gracias por ser guías en mi formación profesional y personal.

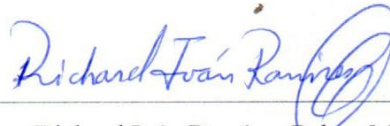
Finalmente, dedico esta tesis a todas las personas que, de una u otra manera, formaron parte de este camino. Cada palabra de aliento, cada consejo y cada gesto de apoyo fueron una fuente de inspiración para no rendirme y continuar hasta alcanzar esta meta. Este logro es el reflejo del esfuerzo conjunto de todos ellos.

Lisbeth Andrea Yagual Gonzabay

CERTIFICADO DE ANTIPLAGIO

En calidad de tutor del trabajo de investigación para titulación del tema “**EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DEL HORMIGÓN DE RESISTENCIA F’C=210 KG/CM² CON DIFERENTES PORCENTAJES DE FIBRA DE ACERO**” elaborado por el estudiante González Ramírez Erick Steven y Yagual Gonzabay Lisbeth Andrea, egresados de la Carrera de Ingeniería Civil, de la Facultad de Ciencias de la Ingeniería, me permito declarar que una vez finalizado en el sistema antiplagio **COMPILATIO**, luego de haber cumplido con los requerimientos exigidos de valoración, la presente tesis, se encuentra con un 7% de la valoración permitida.

Firma del tutor



Ing. Richard Iván Ramírez Palma MS.c.

C.C.: 0912246451



Tesis 2025-2 EVALUACION DEL COMPORTAMIENTO MECANICO DEL HORMGON DE RESISTENCIA 210 KGCM2 CON DIFERENTES PORCENTAJES DE FIBRA DE ACERO



Nombre del documento: Tesis 2025-2 EVALUACION DEL COMPORTAMIENTO MECANICO DEL HORMGON DE RESISTENCIA 210 KGCM2 CON DIFERENTES PORCENTAJES DE FIBRA DE ACERO.docx
ID del documento: d8e4fb6d9c09e7488362807c62ac27cbd777092c
Tamaño del documento original: 378,92 kB

Depositante: RICHARD IVAN RAMIREZ PALMA
Fecha de depósito: 6/11/2025
Tipo de carga: interface
fecha de fin de análisis: 6/11/2025

Número de palabras: 14.136
Número de caracteres: 90.276

Ubicación de las similitudes en el documento:



Fuentes de similitudes

Fuentes con similitudes fortuitas

N°	Descripciones	Similitudes	Ubicaciones	Datos adicionales
1	Plagio Tesis Gabriela y Kerly.docx Plagio Tesis Gabriela y Kerly #03a04 Viene de de mi grupo	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (26 palabras)
2	clusteredificacion.com https://clusteredificacion.com/documentos/ENTREGABLE-FIBRAS-FINAL.pdf	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (19 palabras)
3	Documento de otro usuario #d11a88 Viene de de otro grupo	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (20 palabras)
4	hdl.handle.net Evaluación de las propiedades mecánicas de un concreto autoco... https://hdl.handle.net/20.500.12557/3831	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (12 palabras)
5	www.dspace.uce.edu.ec Incidencia del empleo del hormigón fibroreforzado en... http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/7874	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (11 palabras)

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Nosotros, **ERICK STEVEN GONZALEZ RAMIREZ** y **LISBETH ANDREA YAGUAL GONZABAY**, declaramos bajo juramento que el presente trabajo de titulación denominado **“EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DEL HORMIGÓN DE RESISTENCIA $F'C=210$ KG/CM² CON DIFERENTES PORCENTAJES DE FIBRA DE ACERO”**, no tiene antecedentes de haber sido elaborado en la Facultad de Ciencias de la Ingeniería, Carrera de Ingeniería Civil, lo cual es un trabajo exclusivamente inédito y perteneciente de nuestra autoría.

Por medio de la presente declaración cedemos los derechos de autoría y propiedad intelectual, correspondiente a este trabajo, a la Universidad Estatal Península de Santa Elena, según lo establecido por la ley de propiedad intelectual, por su reglamento y por la normativa institucional vigente.


Atentamente,



ERICK STEVEN GONZALEZ RAMIREZ

Autor de Tesis

C.I.: 2450204223



LISBETH ANDREA YAGUAL GONZABAY

Autor de Tesis

C.I.: 2450528381

CERTIFICADO DEL TUTOR

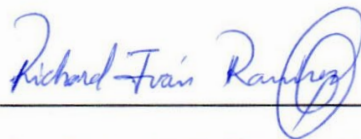
Ing. Richard Iván Ramírez Palma

TUTOR DE PROYECTO DE INVESTIGACION

Universidad Estatal Península de Santa Elena

En mi calidad de Tutor del presente trabajo de investigación **“EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DEL HORMIGÓN DE RESISTENCIA $F'_{C}=210 \text{ KG/CM}^2$ CON DIFERENTES PORCENTAJES DE FIBRA DE ACERO”** previo a la obtención del Título de Ingeniero Civil elaborado por el Sr/a. González Ramírez Erick Steven y Yagual Gonzabay Lisbeth Andrea, egresados de la Carrera de Ingeniería Civil, Facultad de Ciencias de la Ingeniería de la Universidad Estatal Península de Santa Elena, me permito declarar que luego de haber orientado, estudiado y revisado, la apruebo en todas sus partes.

Firma del tutor



Ing. Richard Iván Ramírez Palma MS.c

Lcda. Betty Ruth Gómez Suárez, Mgtr.
Celular: 0962183538
Correo: bettyruthgomez@educacion.gob.ec

CERTIFICACIÓN GRAMATICAL Y ORTOGRÁFICA

Yo, **BETTY RUTH GÓMEZ SUÁREZ**, en mi calidad de **LICENCIADA EN CIENCIAS DE LA EDUCACIÓN Y MAGÍSTER EN DISEÑO Y EVALUACIÓN DE MODELOS EDUCATIVOS**, por medio de la presente tengo a bien indicar que he leído y corregido el Trabajo de Integración Curricular previo a la obtención del Título de Ingeniero en Civil, denominado **“EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DEL HORMIGÓN DE RESISTENCIA $F'C=210$ KG/CM² CON DIFERENTES PORCENTAJES DE FIBRA DE ACERO”**, de los estudiantes: **GONZALEZ RAMIREZ ERICK STEVEN y YAGUAL GONZABAY LISBETH ANDREA**.

Certifico que está redactado con el correcto manejo del lenguaje, claridad en las expresiones, coherencia en los conceptos e interpretaciones, adecuado empleo en la sinonimia. Además de haber sido escrito de acuerdo a las normas de ortografía y sintaxis vigentes.

En cuanto puedo decir en honor a la verdad y autorizo a los interesados hacer uso del presente como estime conveniente.

Santa Elena, 06 de Noviembre del 2025


Lcda. Betty Ruth Gómez Suárez, Mgtr.
CI. 0915036529

LICENCIADO EN CIENCIAS DE LA EDUCACIÓN
MAGÍSTER EN DISEÑO Y EVALUACIÓN DE MODELOS EDUCATIVOS
N° DE REGISTRO DE SENECYT 1050-2014-86052892

AGRADECIMIENTO

Expreso mi sincero agradecimiento a Dios, por la salud, fortaleza y sabiduría brindadas para completar esta etapa académica.

A mis padres, por su incondicional apoyo y estímulo que me motivaron a superar cada desafío; y a Nayeli, por su aliento constante y apoyo emocional en momentos difíciles.

A la universidad y a los docentes que formaron parte de mi proceso de aprendizaje, agradezco por su profesionalismo, dedicación y por compartir generosamente sus conocimientos.

Mi especial reconocimiento al docente tutor Richard, cuya guía constante y apoyo fueron clave para el desarrollo exitoso de este proyecto.

Un agradecimiento muy especial a mi compañera de tesis, Lisbeth, por su dedicación, esfuerzo y entrega excepcional a lo largo de todo el proceso.

Erick S. González Ramírez

AGRADECIMIENTO

A Dios, por darme la vida, la sabiduría y la fortaleza necesarias para culminar esta etapa tan importante. Por acompañarme en cada paso del camino, brindándome esperanza en los momentos difíciles y serenidad para continuar con fe y perseverancia.

A mis padres, por su amor incondicional, por ser mi ejemplo de esfuerzo, responsabilidad y superación. Su apoyo constante, consejos y sacrificios fueron fundamentales para alcanzar este logro. A mis hermanos y familiares, por su comprensión, paciencia y cariño en cada momento de este proceso.

A mi compañero de tesis Erick González, cuyo compromiso, trabajo y colaboración fueron claves para la realización de esta investigación. Compartir este desafío fue una experiencia de aprendizaje mutuo que fortaleció no solo nuestras capacidades académicas, sino también nuestra amistad y perseverancia.

A mi tutor de tesis, por su orientación, conocimiento y tiempo dedicado. Su guía académica fue esencial para el desarrollo de este trabajo y para el conocimiento profesional que este proyecto represento.

Lisbeth Andrea Yagual Gonzabay

CONTENIDO

TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN	II
DEDICATORIA	III
AGRADECIMIENTO.....	X
CONTENIDO	XII
LISTA DE TABLAS.....	XV
LISTA DE GRAFICOS	XVII
LISTA DE FIGURAS.....	XVIII
LISTA DE ECUACIONES.....	XIX
RESUMEN XX	
CAPITULO I: INTRODUCCIÓN	1
1.1 PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.....	1
1.2 ANTECEDENTES.....	4
1.3 HIPÓTESIS.....	5
1.3.1 Hipótesis general.....	5
1.3.2 Hipótesis específicas.....	5
1.4 OBJETIVOS	6
1.4.1 Objetivo General.....	6
1.4.2 Objetivos Específicos.....	6
1.5 ALCANCE.....	6
1.6 VARIABLES	7
1.6.1 Variables Dependientes.....	7
1.6.2 Variables Independientes	7
CAPITULO II: MARCO TEÓRICO	8
2.1 HORMIGÓN.....	8
2.2 COMPONENTES DEL HORMIGÓN.....	8
2.2.1 Cemento.	8
2.2.2 Agua.	9
2.2.3 Agregados.	9
2.3 COMPORTAMIENTO Y PROPIEDADES MECANICAS DEL HORMIGON.....	12
2.3.1 Comportamiento.....	12

2.3.2	Propiedades.....	18
2.4	MÉTODO ACI 211.1	21
2.5	FIBRAS COMO REFUERZO PARA EL HORMIGON.....	22
2.5.1	Ventajas y desventajas de las fibras en el hormigón.....	22
2.6	CLASIFICACIÓN DE FIBRAS	27
2.6.1	Fibras naturales.....	27
2.6.2	Fibras sintéticas.....	27
2.6.3	Fibra de vidrio.....	29
2.6.4	Fibra de acero.....	29
CAPITULO III: METODOLOGÍA		32
3.1	TIPO DE INVESTIGACION.....	32
3.2	ENFOQUE METODOLÓGICO	32
3.3	DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN	32
3.4	POBLACIÓN Y MUESTRA	33
3.4.1	Población.....	33
3.4.2	Muestra.....	33
3.5	METODOLOGIA OBJETIVO ESPECIFICO 1: CARACTERIZACIÓN DE AGREGADOS	35
3.5.1	Procedimiento y Normas Aplicados Para los Materiales.....	35
3.6	METODOLOGIA OBJETIVO ESPECIFICO II: DISEÑO DE MEZCLA PATRON Y CON FIBRAS DE ACERO.	43
3.6.1	Diseño.	43
3.6.2	Resistencia requerida promedio (f'_{cr}).....	43
3.6.3	Revenimiento.	44
3.6.4	Tamaño máximo del agregado grueso.	44
3.6.5	Cálculo de agua de mezclado.....	45
3.6.6	Relación agua/ cemento (a/c).....	45
3.6.7	Cálculo del contenido de cemento GU.....	46
3.6.8	Determinación del volumen del agregado grueso.....	47
3.6.9	Cálculo del peso del agregado grueso.....	48
3.6.11	Cálculo del Volumen del Agregado Fino.	49
3.6.12	Cálculo del Peso del Agregado fino.....	49
3.6.13	Pesos de Materiales Para Mezcla de Hormigón.....	49
3.6.14	Corrección por Absorción y Humedad de los Agregados.....	50
3.6.15	Corrección por Humedad y Absorción del Agua.....	50
3.6.16	Cálculo de Agua Efectiva.	51
3.6.17	Pesos de Materiales Corregidos Para Mezcla de Hormigón.	52

3.6.18	Corrección de la Relación agua/cemento.....	52
3.6.19	Proporciones en Peso de los Agregados	52
3.6.20	Cantidad de Fibra de Acero Para 1m ³ de Hormigón.....	53
3.6.21	Diseño de Mezcla patrón + Fibra de Acero con Gancho o Fibra de Acero Ondulada Para Cilindros y Vigas.....	53
3.7	METODOLOGIA OBJETIVO ESPECIFICO III: ANALISIS DE PORCENTAJE OPTIMO DE FIBRA DE ACERO	54
CAPITULO IV: ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....		55
4.1	RESULTADOS DEL OBJETIVO 1. CARACTERIZACIÓN DE LOS AGREGADOS	55
4.2	RESULTADOS DEL OBJETIVO 2. DISEÑO DE MEZCLA PATRON Y CON FIBRAS DE ACERO.	61
4.2.1	Diseño de la Mezcla Patrón.....	61
4.3	RESULTADOS DEL OBJETIVO 3. ANALISIS DE PORCENTAJE OPTIMO DE FIBRA DE ACERO.	63
4.3.1	RESULTADOS DE RESISTENCIA A LA COMPRESION.....	63
4.3.2	RESULTADO DE RESISTENCIA A LA FLEXION.....	71
4.3.3	RESULTADO DE RESISTENCIA A TRACCION INDIRECTA.....	78
CAPITULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....		86
5.1	CONCLUSIONES	86
5.2	RECOMENDACIONES.....	87
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....		88
ANEXOS.....		94

LISTA DE TABLAS

Tabla 1.	Número de cilindros de hormigón- Ensayo de compresión.....	34
Tabla 2.	Número de vigas de hormigón- Ensayo de Flexión.....	34
Tabla 3.	Número de Cilindros- Ensayo de Tracción Indirecta.....	35
Tabla 4.	Resistencia requerida promedio	44
Tabla 5.	Revenimientos recomendados para diversos tipos de construcción.	44
Tabla 6.	Cantidad de agua de mezclado para distintos revenimientos.....	45
Tabla 7.	Correspondencia entre la relación a/c y resistencia a compresión.	46
Tabla 8.	Datos de interpolación obtenidos en la tabla 8.....	46
Tabla 9.	Volumen de agregado grueso para 1 m ³ de hormigón.	47
Tabla 10.	Datos de interpolación obtenidos en la tabla 10.....	47
Tabla 11.	Cantidad de mezcla en kg para 1m ³ de hormigón	49
Tabla 12.	Cantidades corregidas de mezcla en kg para 1m ³ de hormigón.	52
Tabla 13.	Proporción en peso de agregados para mezcla de hormigón	52
Tabla 14.	Dosificación de fibra de acero para 1m ³	53
Tabla 15.	Granulometría de Agregado Grueso	56
Tabla 16.	Granulometría de Agregado Fino.....	57
Tabla 17.	Peso Volumétrico Suelto de Agregado Grueso.....	58
Tabla 18.	Peso Volumétrico Suelto de Agregado Fino.....	58
Tabla 19.	Peso Volumétrico Varillado de Agregado Grueso.....	58
Tabla 20.	Densidad Saturada Superficialmente Seca de Agregado Grueso (D.S.S.S).	58
Tabla 21.	Densidad Saturada Superficialmente Seca de Agregado Fino (D.S.S.S).	59
Tabla 22.	Porcentaje de Absorción de agregado grueso.	59
Tabla 23.	Porcentaje de Absorción de Agregado Fino.....	59
Tabla 24.	Porcentaje de Humedad de Agregado Fino.....	59
Tabla 25.	Porcentaje de Humedad de Agregado Grueso	60

Tabla 26.	Resumen de datos obtenidos de ensayos previo al diseño de mezcla de hormigón.....	60
Tabla 27.	Proporciones para 1m ³ de hormigón.	61
Tabla 28.	Proporciones de materiales para cilindros de hormigón.	62
Tabla 29.	Proporciones de materiales para cilindros pequeños de hormigón	62
Tabla 30.	Proporciones de materiales para vigas de hormigón.....	62
Tabla 31.	Resistencia a compresión de hormigón H210.....	63
Tabla 32.	Resistencia a compresión de hormigón H210 + 0.5% de FAG y FAO.....	64
Tabla 33.	Resistencia a compresión de hormigón H210 +0.75% de FAG y FAO.....	66
Tabla 34.	Resistencia a compresión de hormigón H210 +1% de FAG y FAO.....	68
Tabla 35.	Copilado comparativo de resistencias a compresión.	70
Tabla 36.	Resistencia a flexión de hormigón H210.	71
Tabla 37.	Resistencia a flexión de hormigón H210+0.5% de FAG y FAO.....	72
Tabla 38.	Resistencia a flexión de hormigón H210 + 0.75% de FAG y FAO.....	74
Tabla 39.	Resistencia a flexión de hormigón H210+1% de FAG y FAO..	75
Tabla 40.	Copilado comparativo de resistencias a flexión.....	77
Tabla 41.	Resistencia a Tracción Indirecta de hormigón H210.	78
Tabla 42.	Resistencias a Tracción Indirecta de hormigón H210 + 0.5% de FAG y FAO.....	80
Tabla 43.	Resistencia a Tracción Indirecta de hormigón patrón +0.75% de FAG y FAO.....	81
Tabla 44.	Resistencia a tracción indirecta del hormigón H210+1% de FAG y FAO.....	83
Tabla 45.	Copilado comparativo de resistencias a Tracción Indirecta.....	84

LISTA DE GRAFICOS

Gráfico 1. Ventajas del hormigón reforzado con fibras	24
Gráfico 2. Desventajas del hormigón reforzado con fibras.....	26
Gráfico 3. Curva granulométrica del agregado grueso.....	56
Gráfico 4. Curva granulométrica del agregado fino.....	57
Gráfico 5. Curva de resistencia a la compresión promedio de H210.....	63
Gráfico 6. Curva de resistencia a la compresión promedio de hormigón H210 + 0.5% de FAG y FAO.....	65
Gráfico 7. Curva de resistencia a la compresión promedio de hormigón H210 +0.75% de FAG y FAO.....	67
Gráfico 8. Curva de resistencia a la compresión de hormigón H210+1% de FAG y FAO.....	69
Gráfico 9. Curva de resistencia a la compresión promedio de hormigón + H210 con incorporación de fibras de acero (0.5%, 0.75% y 1%).....	70
Gráfico 10. Curva de resistencia a flexión de hormigón H210.....	71
Gráfico 11. Curva de resistencia a flexión de hormigón H210+0.5% de FAG y FAO.....	73
Gráfico 12. Curvas de resistencia a flexión de hormigón H210+0.75 de FAG y FAO.....	74
Gráfico 13. Curvas de resistencia a flexión de hormigón H210+1% de FAG y FAO.....	76
Gráfico 14. Curvas de resistencia a flexión de hormigón H210 con incorporación de fibras de acero (0.5%, 0.75%, 1%).....	77
Gráfico 15. Diagrama de barras de resistencia a tracción indirecta de hormigón H210.	79
Gráfico 16. Diagrama de barras de resistencia a tracción indirecta de hormigón H210+0.5% de FAG y FAO.....	80
Gráfico 17. Diagrama de barras de resistencia a tracción indirecta de hormigón+0.75% de FAG y FAO.....	82
Gráfico 18. Diagrama de barras de resistencia a tracción indirecta de hormigón H210+1% de FAG y FAO.....	83
Gráfico 19. Diagrama de barras de resistencia a tracción indirecta de hormigón con incorporación de fibras de acero (0.5%, 0.75%, 1%).....	85

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.	Montaje de ensayo de compresión	12
Figura 2.	Tipos de fracturas según ASTM C39.....	14
Figura 3.	Diagrama de apoyos con aplicación de carga en los tercios de la longitud total para determinar la resistencia a flexión del hormigón.....	15
Figura 4.	Configuración de carga del ensayo de tracción indirecta.....	17
Figura 5.	Geometría de los tipos de fibras de acero	31
Figura 6.	Proceso de tamizado de agregado grueso.....	37
Figura 7.	Proceso de registro de pesos retenidos en tamices.....	37
Figura 8.	Registro de peso suelto de agregado mas molde.....	39
Figura 9.	Vaciado de molde con agregado, compactacion y enrrasado	40
Figura 10.	Proceso de sumergir el agregado utilizando una canastilla metálica	42
Figura 11.	Proceso llenado de frasco más agua y agregado fino.....	42

LISTA DE ECUACIONES

Ecuación 1. Fórmula para determinar el módulo de rotura cuando la fractura está dentro del tercio medio de la luz.....	16
Ecuación 2. Fórmula para determinar el módulo de rotura cuando la fractura esta fuera del tercio medio del largo de la luz (menos del 5% del largo de la luz).....	16
Ecuación 3. Carga máxima a tracción de la probeta.....	18
Ecuación 4. Resistencia requerida a la compresión.....	44
Ecuación 5. Volumen de agua de mezclado.	45
Ecuación 6. Interpolación relación a/c.....	46
Ecuación 7. Contenido de cemento.....	46
Ecuación 8. Volumen del cemento	47
Ecuación 9. Peso del agregado grueso.....	48
Ecuación 10. Densidad del agregado grueso.....	48
Ecuación 11. Volumen real del agregado grueso.....	48
Ecuación 12. Volumen del agregado fino	49
Ecuación 13. Peso del agregado fino.....	49
Ecuación 14. Corrección por absorción y humedad del agregado grueso..	50
Ecuación 15. Corrección por absorción y humedad del agregado fino.....	50
Ecuación 16. Corrección por humedad y absorción del agua.	50
Ecuación 17. Relacion a/c corregida.....	52
Ecuación 18. Cantidad de fibra de acero para 1m ³ de hormigón.	53

“EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DEL HORMIGÓN DE RESISTENCIA F’C=210 KG/CM² CON DIFERENTES PORCENTAJES DE FIBRA DE ACERO”

Autor: González Ramírez Erick Steven

Yagual Gonzabay Lisbeth Andrea

Tutor: Ing. Ramírez Palma Richard Iván, Ms.c

RESUMEN

En esta investigación se evaluó el comportamiento mecánico tanto del hormigón patrón como del hormigón reforzado con de fibras de acero. La dosificación y elaboración de la mezcla se realizó siguiendo el procedimiento de la ACI 211,1. Una vez obtenida la dosificación del hormigón patrón, se adicionó porcentajes de 0,5%, 0,75% y 1% en volumen del hormigón de dos tipos de fibra de acero, rectas con gancho (FAG) y onduladas (FAO). Las probetas cilíndricas fueron sometidas a ensayos de compresión y tracción indirecta, las prismáticas a flexión. La resistencia a compresión con FAO puede llegar a aumentar hasta en un 21,5% con dosificación de 0,5%, en comparación al hormigón patrón. En cuanto a resistencia a flexión, la dosificación que logró el mayor módulo de rotura fue de 0,75% y 1% con FAG, superando al hormigón patrón en 47,4%. En resistencia a tracción, la dosificación destacada fue de 1% con FAO, la cual obtuvo una mejora del 29% en comparación al hormigón patrón.

PALABRAS CLAVE: Resistencia, Fibra, Hormigón, Dosificación

**“EVALUATION OF THE MECHANICAL BEHAVIOR OF
CONCRETE WITH A STRENGTH OF F’C=210 KG/CM2 WITH
DIFFERENT PERCENTAGES OF STEEL FIBER”**

Authors: Gonzalez Ramirez Erick Steven

Yagual Gonzabay Lisbeth Andrea

Tutor: ing. Ramírez Palma Richard Iván, MS.c

ABSTRACT

This investigation evaluated the mechanical behavior of both standard concrete and steel fiber-reinforced concrete. The mix design and preparation followed the ACI 211.1 procedure. Once the standard concrete mix design was obtained, two types of steel fibers—straight with hooks (FAG) and wavy (FAO)—were added at percentages of 0.5%, 0.75%, and 1% by volume. Cylindrical specimens were subjected to compression and indirect tensile tests, while prismatic specimens were subjected to flexural tests. Compressive strength with FAO increased by up to 21.5% with a 0.5% dosage, compared to the standard concrete. Regarding flexural strength, the dosage that achieved the highest modulus of rupture was 0.75% and 1% with FAG, exceeding the standard concrete by 47.4%. In tensile strength, the standout dosage was 1% FAO, which resulted in a 29% improvement compared to the control concrete.

KEYWORDS: Resistance, Fiber, Concrete, Dosage

CAPITULO I: INTRODUCCIÓN

El hormigón, un material fundamental en el ámbito de la construcción, destacándose por sus características excepcionales que lo convierten en uno de los materiales más empleados a nivel mundial. Su versatilidad y durabilidad permiten su aplicación en una amplia variedad de proyectos, desde obras civiles tales como puentes, carreteras, túneles, hasta edificaciones arquitectónicas de notable magnitud que enriquecen el paisaje urbano. (Guarderas Alegria, n.d.)

En la actualidad, la búsqueda de materiales que mejoren las propiedades del hormigón ha impulsado que se busquen opciones tecnológicas, donde una de las que más destacadas es la incorporación de fibras, las cuales actúan como refuerzo secundario, al producirse hormigones con adición de fibras se logra mejorar el comportamiento post-fisuración. Esta técnica ha posibilitado que el hormigón mantenga su capacidad de resistencia inicial, además, que demuestre un rendimiento más eficaz ante cargas dinámicas.

Diversos estudios sobre el uso de fibras de acero en la mezcla del hormigón simple buscan reducir los efectos de los principales problemas del hormigón como su fragilidad y falta de ductilidad. Estos estudios surgen de la necesidad de enfrentar estas limitaciones, con el objetivo de mejorar estas propiedades mecánicas y comportamiento general del hormigón simple. La incorporación de fibras de acero dispersas en la mezcla de hormigón no solamente ayuda a mejorar sus propiedades mecánicas, también proporciona oportunidades adicionales para crear estructuras más eficientes.

Este enfoque se basa en la premisa de que, al reforzar el material con fibras, es posible mitigar los efectos de las tensiones y mejorar su comportamiento ante diferentes condiciones de carga. (Silva Tipantasig, 2014). El hormigón es muy fuerte cuando se somete a compresión, lo que lo convierte en un material valioso para construir. Sin

embargo, es importante considerar su resistencia a la tensión ya que esto ayuda a prever y evitar agrietamientos en el material. (Moreno et al., 2016).

La combinación inicial del hormigón con el acero, básicamente en forma de barras de diferente calibre, ha dado paso modernamente a la utilización del acero en forma de fibras, mallas y otros formatos diversos. Los avances científicos y tecnológicos han permitido grandes avances, no solo en la durabilidad, aumento de su resistencia y reducción de la fluencia, sino que han permitido mejorar casi a voluntad las características fisicoquímicas del material revolucionando aplicaciones futuras. (Romea, 2014)

En el presente trabajo de investigación evaluará el comportamiento mecánico del hormigón de resistencia $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$ al incorporar dos tipos de fibras de acero (ondulada y recta), en porcentajes del 0,5%, 0,75%, 1% con relación al volumen del hormigón. Con el fin de hacer un análisis comparativo entre los dos tipos de fibra.

1.1 PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

En la actualidad, la industria de la construcción enfrenta múltiples desafíos técnicos, económicos y ambientales que ponen en evidencia la necesidad de repensar los materiales y técnicas tradicionalmente empleados. El hormigón, gracias a su alta resistencia a la compresión, su disponibilidad y su capacidad de adaptarse en obra, se emplea como material estructural. Sin embargo, tiene algunas restricciones que impactan su rendimiento estructural en el largo plazo. Algunas de estas restricciones incluyen su escasa resistencia a la tracción y, por tanto, su fragilidad ante esfuerzos de flexión; esto último resulta en la aparición de fisuras prematuras que ponen en riesgo la longevidad de las estructuras.

El uso de refuerzo metálico es una respuesta convencional a este dilema. Este refuerzo colabora con el hormigón para absorber esfuerzos de tracción y controlar la fisuración. No obstante, el acero como refuerzo pasivo significa costos elevados, peligros de corrosión, la exigencia de trabajadores calificados y periodos de ejecución

extendidos. Asimismo, la producción de acero y cemento tiene un impacto ambiental importante desde una perspectiva de sostenibilidad.

Lehne & Preston (2018), mencionan que cerca del 8% de las emisiones globales de dióxido de carbono (CO₂) son generadas por la industria del cemento en conjunto con las emisiones del acero estructural que también representa una fracción importante de las emisiones globales.

En este contexto, se ha investigado y promovido el uso de materiales compuestos, como el hormigón reforzado con fibras metálicas. Las fibras de acero por su alta resistencia mecánica y módulo de elasticidad tienen la capacidad de mejorar significativamente el comportamiento del hormigón frente a esfuerzos de tracción, flexión y cargas dinámicas al actuar como puentes de transferencia de cargas entre microgrietas, retrasando así su propagación y favoreciendo un comportamiento más dúctil.

A diferencia del refuerzo tradicional, las fibras se distribuyen de manera aleatoria y tridimensional en la matriz del hormigón, lo que permite que el material adquiera propiedades más isotrópicas y resistentes a fisuración en diversas direcciones. Asimismo, algunos estudios han demostrado que las fibras pueden incluso reducir o eliminar parcialmente la necesidad de acero convencional en elementos no estructurales, pavimentos, losas y túneles, además de permitir una reducción del espesor del elemento, menor necesidad de mantenimiento y mayor vida útil.

No obstante, la efectividad de las fibras metálicas en hormigón depende de manera directa del tipo de fibra utilizada, su volumen y geometría, así como del proceso de mezcla y la dosificación. En ocasiones, añadir fibra de forma inapropiada puede tener un impacto negativo en la trabajabilidad de la mezcla, hacer más difícil la colocación en obra y causar segregaciones o aglomeraciones. Así, es necesario analizar con atención la inclusión de fibras para cada aplicación particular y compararla de manera exhaustiva con las mezclas tradicionales.

En este contexto, la mayoría de los estudios se han enfocado en la adición de fibras naturales o sintéticas debido a su facilidad de obtención o su bajo costo. Los

estudios que analizan el hormigón con adición de fibras de acero son limitados, especialmente cuando se trata de una resistencia baja (210kg/cm^2), por el costo que representa adquirir esta fibra. El uso de este tipo de mezcla es común cuando se priorizan alternativas económicas. Esto abre la oportunidad de realizar estudios en este campo poco explorado debido a que aún existen vacíos importantes en los estudios de comparativos entre hormigón simple y con adición de fibra de acero, lo que dificulta establecer con precisión el potencial beneficio de este refuerzo en hormigón de baja resistencia. Este estudio es relevante en contextos locales, donde se busca optimizar el desempeño estructural.

Por otra parte, los estudios existentes destacan que el efecto de la fibra en la resistencia a compresión es mínimo o incluso inexistente, la principal ventaja consiste en mejorar el comportamiento a flexión, tracción y en aumentar la tenacidad para fisurarse. En elementos como muros delgados, losas o pavimentos, donde la acción de cargas vivas y los efectos térmicos pueden causar microfisuras que, si no se gestionan adecuadamente, corren el riesgo de provocar fallos prematuros.

En consecuencia, se considera necesario y pertinente realizar un estudio comparativo experimental entre el comportamiento del hormigón tradicional y el hormigón con fibra de acero en condiciones controladas, con diseño a 210 kg/cm^2 , bajo ensayos de compresión, flexión, tracción indirecta. A través de este análisis, se busca cuantificar de manera precisa las diferencias en cuanto a resistencia que podría dar lugar a nuevas recomendaciones técnicas para el uso de fibras en mezclas convencionales.

La pregunta central de este estudio es:

¿Como varía el comportamiento mecánico con y sin fibra de acero, diseñados a una resistencia $f'c= 210\text{ kg/cm}^2$, cuando son sometidos a esfuerzos de compresión, flexión, tracción indirecta?

Esta pregunta surge de la necesidad de contar con datos confiables que permitan evaluar si la inclusión de fibras de acero realmente aporta beneficios en mezclas de baja resistencia, típicas de la construcción no especializada, y si esos beneficios

justifican su uso desde un punto de vista técnico. El objetivo de esta investigación es proporcionar información que facilite optimizar el diseño de componentes estructurales, reducir el consumo de materiales y aplicar soluciones que sean más duraderas y sostenibles. Este estudio también podría generar conocimiento útil para actualizar normativas locales y establecer criterios claros para el diseño de hormigón reforzado con fibras de acero.

El desafío por tratar se encuentra en la necesidad de comprobar experimentalmente el impacto que tiene realmente la inclusión de fibras metálicas en una mezcla de hormigón con baja resistencia, tanto desde la perspectiva de su desempeño mecánico bajo carga como desde el punto de vista de su viabilidad en las circunstancias actuales del sector de la construcción. Las conclusiones sólidas acerca de la relevancia de esta tecnología podrán ofrecerse gracias a los resultados de este estudio comparativo, y además, se podrá aportar al mejoramiento de las prácticas en la construcción civil moderna.

1.2 ANTECEDENTES

A nivel global, se ha llevado a cabo una amplia investigación sobre el hormigón reforzado con fibras de acero. En etapas tempranas, buscando mejorar la resistencia al agrietamiento y durabilidad de los elementos de hormigón, se usaron fibras naturales como la paja y adobe, el pelo de caballo en revoques y el asbesto en el cemento. Sin embargo, cuando se identificaron los riesgos del asbesto para la salud, surgió la necesidad de buscar sustitutos que ofrecieran beneficios similares.

A. Berard en 1874 presentó la primera patente de un hormigón reforzado con fibras de acero, específicamente se basó en una piedra artificial que utilizaba acero granular proveniente de desechos de refuerzo de hormigón, a esta patente le prosiguió el estudio de Graham en 1911, cuando se usó estas fibras por primera vez para incrementar la resistencia y estabilidad del hormigón armado convencional, de igual manera también se encuentra el estudio de G. Martin en 1927, usó alambres de acero rizados en el hormigón empleado en tuberías. (Flor Chávez et al., 2019)

De acuerdo con Santos Cortés (2006), en 1960 también se realizaron diversos estudios con fibras metálicas y de vidrio. Así mismo según Flor Chávez et al. (2019) destaca que en la década de los años 50 se realizaron estudios del hormigón con incorporación de aceros de bajo carbono, acero inoxidable y galvanizado entre los cuales destaca el estudio de Romualdi, Batson y Mandelen realizado en 1963.

En México, Heras Delgadillo, (1990) estudió como el hormigón reforzado con fibras de acero podía incrementar su resistencia a la tensión, flexión cortante y dureza con respecto con al hormigón sin fibras. Por su parte, el American Concrete Institute (ACI), creó el Comité ACI 544, con la responsabilidad de elaborar estándares y guías para hormigón reforzado con fibras a través de una publicación del ACI 544.1R-96, se formalizó su estandarización.

Actualmente, en estudios realizados han confirmado beneficios al usar fibras de acero, como es el caso de Carrillo Julián et al. (2013), encontró que el uso de fibras en el hormigón ha ganado popularidad, en las últimas décadas.

Los antecedentes descritos muestran que el hormigón con fibra de acero puede mejorar el comportamiento mecánico en compresión, flexión, y tracción.

1.3 HIPÓTESIS

1.3.1 Hipótesis general

La incorporación de fibras de acero en porcentajes de 0,5%, 0,75%, 1%, en el hormigón con resistencia a compresión de $f'c=210$ kg/cm² mejorará el módulo de rotura del material en comparación con el hormigón convencional sin fibras.

1.3.2 Hipótesis específicas

H.E.1 La caracterización de los agregados finos y gruesos permitirá hacer un adecuado control de calidad de los materiales empleados según las normas NTE INEN 696 y ASTM C136, asegurando los resultados de la mezcla patrón y la mezcla con incorporación de fibra de acero.

- H.E.2** Elaborar una mezcla de hormigón de acuerdo con la norma ACI 211.1, que incluya fibras de acero permitirá obtener un hormigón con una resistencia a la tracción y flexión más alta que las mezclas convencionales.
- H.E.3** La adición de fibras de acero mejora el desempeño mecánico del hormigón, y que hay un porcentaje óptimo de dosificación que maximiza estas propiedades sin perjudicar la trabajabilidad ni los parámetros de diseño estructural.

1.4 OBJETIVOS

1.4.1 Objetivo General

Evaluar el comportamiento mecánico del hormigón con resistencia $f'_c=210$ kg/cm² mediante la incorporación de dos tipos de fibras de acero en diferentes porcentajes, para determinar su influencia en las propiedades del hormigón.

1.4.2 Objetivos Específicos

- O.E.1** Determinar las propiedades físicas y mecánicas de los agregados mediante las normas, ASTM C-136, NTE INEN 696, ASTM C-33.
- O.E.2** Diseñar mezclas de hormigón con resistencias $f'_c=210$ kgf/cm², incorporando dos tipos de fibras de acero en porcentajes de 0,5%, 0,75% y 1%, de acuerdo con la norma ACI 211.1.
- O.E.3** Analizar los resultados obtenidos para establecer el porcentaje óptimo de fibra de acero que mejore el desempeño mecánico del hormigón dentro de los parámetros de diseño en ingeniería civil.

1.5 ALCANCE

La presente investigación se enfoca en la evaluación del comportamiento mecánico de un hormigón de resistencia a compresión característica $f'_c=210$ kg/cm², elaborado con cemento Holcim tipo GU y un agregado grueso de tamaño nominal de

25 mm, proveniente de la cantera de Huayco. El material será reforzado con fibras de acero de dos tipologías: con gancho (FAG) y ondulada (FAO), ambas en conformidad con la norma ASTM A820, incorporadas en proporciones de 0,5 %, 0,75 % y 1,0 % en volumen de hormigón.

El estudio se llevará a cabo exclusivamente en laboratorio, donde se prepararán y ensayarán probetas cilíndricas y prismáticas fabricadas con mezclas de hormigón estándar y con adición de fibras de acero. Se realizarán pruebas de compresión, flexión, tracción indirecta siguiendo las normas técnicas vigentes.

El objetivo principal es comparar el rendimiento de hormigones con fibras de acero rectas (FAG) y onduladas (FAO), analizando cómo varían sus resistencias y ductilidad. Esto permitirá determinar cómo el tipo y la cantidad de fibra influyen en las propiedades del material y establecer la dosificación más adecuada y eficiente.

Este proyecto no abordará aspectos relacionados con durabilidad a largo plazo, comportamiento al fuego, análisis económico, aunque se dejaran recomendaciones para futuras investigaciones.

1.6 VARIABLES

1.6.1 Variables Dependientes

- Resistencia a compresión del hormigón
- Módulo de rotura del hormigón.
- Resistencia a tracción indirecta.

1.6.2 Variables Independientes

- Diseño de hormigón.
- Fibras de acero
- Tipo de fibra

CAPITULO II: MARCO TEÓRICO

2.1 HORMIGÓN

La NTE INEN 1762 (2015), define al hormigón o concreto como un “material compuesto que consiste esencialmente de un medio aglutinante en el que están embebidos partículas y fragmentos de áridos. En el hormigón de cemento hidráulico, el aglutinante está formado por una mezcla de cemento hidráulico y agua”

El hormigón puede comprenderse, por tanto, como una mezcla de cemento, agua, y agregados de distinta naturaleza, combinados en proporciones específicas para alcanzar la resistencia deseada. (Brito & Castro, 2017).

2.2 COMPONENTES DEL HORMIGÓN

2.2.1 Cemento.

El cemento es un aglutinante que, dentro de una mezcla de hormigón, une y mantiene juntos los agregados para formar una masa sólida y resistente. La hidratación del cemento, que es la reacción química que ocurre cuando se mezcla con agua, es clave para que el hormigón se endurezca y desarrolle su resistencia. Durante este proceso, se genera una estructura interna compacta que brinda estabilidad y durabilidad a la mezcla, asegurando que el hormigón sea fuerte y estable a lo largo del tiempo.

Vega Neyra et al. (2025) sostiene que este aglutinante constituye un material esencial en la construcción debido a su resistencia y versatilidad, y por tanto un notable protagonismo en proyectos de distinta envergadura, desde estructuras sencillas hasta grandes obras.

2.2.1.1 Tipos de cementos.

En las condiciones de exposición, el tiempo de fraguado y durabilidad esperada, de acuerdo con la norma ASTM C1157 (2008). los cementos hidráulicos se clasifican de la siguiente manera:

- a) Tipo GU: Cemento hidráulico para uso general, utilizado cuando no se requiere uno o más tipos especiales.
- b) Tipo HE: Cemento de alta resistencia inicial.
- c) Tipo MS: Cemento de resistencia moderada a los sulfatos.
- d) Tipo HS: Cemento de alta resistencia a los sulfatos.
- e) Tipo MH: Cemento de calor de hidratación moderado.
- f) Tipo LH: Cemento de bajo calor de hidratación.

2.2.2 Agua.

El agua, componente determinante en el hormigón, desempeña una doble función en el proceso de mezclado y endurecimiento del hormigón. Su primera función es activar las reacciones químicas de hidratación del cemento, proceso mediante el cual se generan los compuestos que confieren resistencia y durabilidad al material. Su segunda función es proporcionar la trabajabilidad necesaria para que la mezcla pueda ser manipulada, colocada y compactada adecuadamente en obra, ya que, sin un adecuado contenido de agua, el hormigón sería imposible de manejar y colocar eficazmente, lo que afectaría negativamente su homogeneidad y calidad final.

La relación entre el agua y el cemento impacta directamente sobre la retracción, durabilidad y resistencia del hormigón. Por lo general, una relación agua-cemento baja aumenta la densidad y las propiedades mecánicas del hormigón. En cambio, si hay demasiada agua, puede suceder que disminuya la resistencia y aumente la porosidad.

En cuanto a la calidad aceptable del agua en mezclas de hormigón, Meneses & Soriano (2022) sugiere que esta debe estar limpia y no contener impurezas, puesto que cualquier contaminación afectará la calidad del hormigón.

La norma NTE INEN 2617 o ASTM C1602 establecen los parámetros que debe cumplir el agua para su uso en mezclas de hormigón, garantizando que sea apta para su empleo.

2.2.3 Agregados.

Para Alejandro Quimi & Merchán Reyes (2019), los agregados ocupan entre el 65

al 75% del volumen del hormigón por lo cual son responsables de cambios en las características del hormigón, ya sea en estado fresco o endurecido. Este elevado porcentaje lo convierte en un componente influyente en el comportamiento mecánico de la mezcla resultante.

Por ello Parrales et al. (2023) menciona que, la composición correcta de agregados finos y gruesos puede mejorar la resistencia y densidad del hormigón, reduciendo su porosidad y aumentando su durabilidad, lo que incrementa la vida útil de las estructuras.

2.2.3.1 Arena.

De acuerdo con el ACI Concrete Terminology ACI (2013), la arena se define como la fracción granular del material natural o triturado que pasa por el tamiz No.4 (4,75 mm) y se retiene predominantemente en el tamiz No.200 (0,075 mm).

La arena constituye la parte del agregado fino en mezclas de hormigón y mortero, y está compuesta por partículas de rocas y minerales erosionados, principalmente cuarzo. Esta debe cumplir con cierta granulometría y composición, para que su correcta distribución influya favorablemente en las propiedades físicas y mecánicas del hormigón.

Para los ensayos de calidad de la arena se incluye: granulometría, humedad, densidad y absorción.

Las normas utilizadas son las siguientes:

a) Granulometría.

- NTE INEN 696 o ASTM C136 – *Métodos de ensayo estándar para el análisis granulométrico.*
- ASTM C33 – *Especificación estándar para áridos de hormigón.*

b) Contenido de humedad. NTE INEN 862 o ASTM C566 – Método de ensayo estándar para el cálculo de contenido de humedad de los agregados.

- c) **Densidad y absorción.** NTE INEN 856 o ASTM C128 – Método de ensayo estándar para la densidad relativa y absorción del agregado fino

2.2.3.2 Grava.

La grava es otro componente clave en la mezcla del hormigón, constituye la parte del agregado grueso, aportando volumen, resistencia y estabilidad estructural a la mezcla. Se trata de pequeñas piedras con un tamaño mayor al de la arena que se utilizan para darle mayor firmeza y durabilidad al hormigón. El ACI Concrete Terminology (ACI, 2013), la grava se define como el material triturado que queda retenido en tamiz número 4 (4,75 mm). La calidad de la grava es fundamental porque afecta mayormente la durabilidad de las estructuras, además de determinar la facilidad con la que se puede manejar la mezcla fresca y la resistencia que tendrá una vez endurecida. Propiedades como el tamaño, la forma, la textura y la limpieza de la grava son determinantes para obtener un hormigón fuerte y duradero.

Para garantizar la calidad y el comportamiento adecuado de la grava en el hormigón, se realizan los siguientes ensayos normalizados conforme a las normas NTE INEN o ASTM que se detallan a continuación:

a) **Granulometría.**

- NTE INEN 696 o ASTM C136 – *Métodos de ensayo estándar para el análisis granulométrico.*
- ASTM C33 – *Especificación estándar para áridos de hormigón.*

b) **Contenido de humedad.** NTE INEN 862 o ASTM C566 – Método de ensayo estándar para calcular el contenido de humedad en los agregados.

c) **Densidad y absorción.** NTE INEN 857 o ASTM C127 – Método de ensayo estándar para la densidad relativa (peso específico) y absorción del agregado grueso.

2.3 COMPORTAMIENTO Y PROPIEDADES MECANICAS DEL HORMIGON

2.3.1 Comportamiento.

2.3.1.1 Compresión.

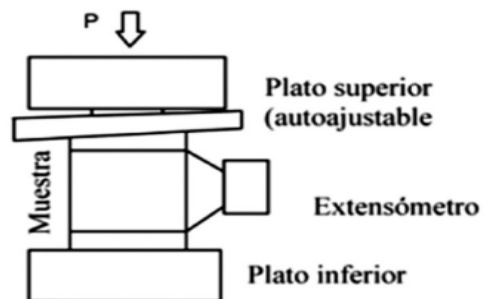
La compresión en el hormigón es la capacidad que tiene este material para resistir fuerzas que intentan aplastarlo, generando presiones internas de aplastamiento.

Las estructuras de hormigón están diseñadas para soportar justamente este tipo de esfuerzos. Así, la resistencia a la compresión indica cuanto peso o carga puede soportar el hormigón sin romperse, y al prevenir la falla de este se puede garantizar la seguridad y estabilidad de cualquier construcción que utilice este material.

El ensayo de la resistencia a la compresión consiste en someter una probeta del material, a una carga creciente entre el cabezal móvil y la base de una máquina universal hasta que ocurre la falla del material. Durante la prueba, el espécimen experimenta una reducción en su longitud y volumen. El esfuerzo máximo soportado se calcula dividiendo la carga aplicada al momento de la falla entre el área de la sección transversal del espécimen. Las dimensiones y geometría de la probeta varían en función del tipo de material a evaluar. Este ensayo permite conocer la capacidad del material para resistir fuerzas de aplastamiento bajo condiciones controladas de velocidad y centrado.

Figura 1.

Montaje de ensayo de compresión



Nota: Representación esquemática del dispositivo usado para ensayo de compresión bajo una carga axial. Consta con plato superior ajustable y un extensómetro para medir la deformación. *Tomado de: Becerra Duitama et al. (2020)*

León & Rodríguez (2022) describe a la resistencia a compresión como la característica más relevante del hormigón, al ser el principal indicador de su calidad y desempeño. Y en cuanto a seguridad ocupacional, Parrales et al., (2023) resalta su importancia para garantizar la estabilidad y seguridad de las estructuras, basándose en la capacidad portante del material frente a las cargas aplicadas durante su vida útil.

La resistencia a compresión del hormigón se evalúa mediante el ensayo de compresión simple, siguiendo la norma americana ASTM C39/C39M o también la norma ecuatoriana NTE INEN 1573.

a) Tipos de falla o fractura.

De manera general, González Rodríguez (2017) define la fractura en los materiales de ingeniería como la división de un cuerpo en dos o más partes. Las fracturas se dividen en dos tipos: frágil y dúctil. La clasificación se fundamenta en la habilidad del material para sufrir deformación plástica; la fractura dúctil incluye una amplia deformación plástica y un desarrollo lento de la fisura, mientras que la fractura frágil ocurre con mínima o ninguna deformación plástica y se distingue por una rápida extensión de la grieta.

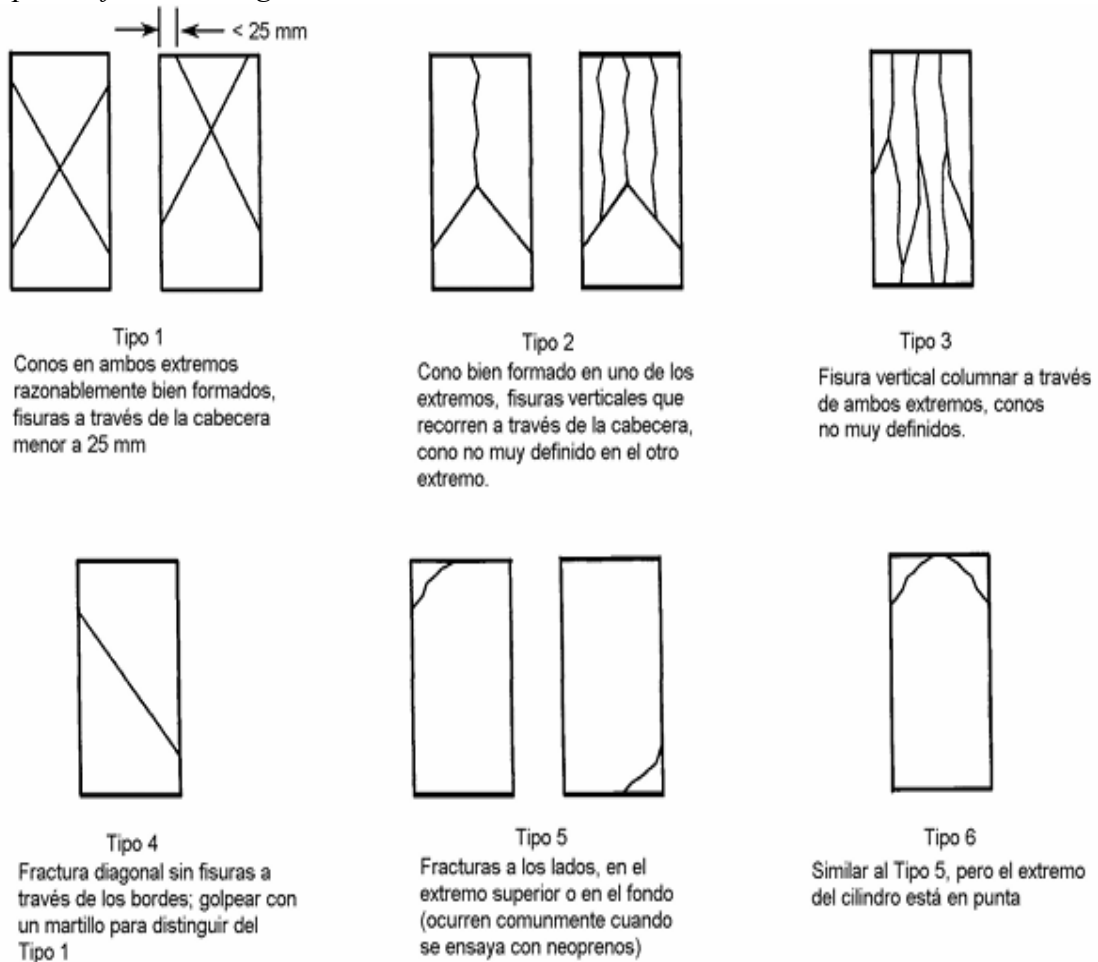
Durante el ensayo de compresión en probetas cilíndricas de hormigón, la norma ASTM C39/C39M delimita seis diferentes formas de fractura en que el cilindro puede romperse. Reconocer cual es el modo de falla que ocurre define si la rotura es aceptada y si los resultados del ensayo son confiables y cumplen con los estándares internacionales. Con esto se busca asegurar que la prueba mida correctamente la resistencia del hormigón y que las muestras usadas están en condiciones óptimas para evaluar la calidad del material.

Los patrones de fractura observados en las probetas de hormigón reflejan diferentes modos de fallo bajo compresión, siendo los tipos 1 a 4 los más representativos de un comportamiento estructural adecuado. Las fracturas tipo 1 y 4,

que muestran un fallo cónico y fisuras longitudinales respectivamente, son indicadoras de una resistencia óptima y una distribución uniforme de esfuerzos en la muestra. Por otro lado, los tipos 5 y 6, que corresponden a fracturas en esquinas o múltiples fragmentaciones generalmente causadas por tapas no adheridas o aplicación irregular de carga, cuando se da este tipo de falla se requiere que se continúe aplicando la carga hasta que se haya alcanzado la capacidad máxima real del hormigón, ya que estas fracturas pueden aparecer antes del fallo definitivo. Esta práctica garantiza que la resistencia medida sea representativa y que el análisis del patrón de fractura permita detectar problemas de moldeo, curado o preparación de la muestra conforme a la norma, facilitando una evaluación completa y precisa del comportamiento mecánico del hormigón.

Figura 2.

Tipos de fracturas según ASTM C39.



Nota: Modos de falla más comunes en probetas de hormigón sometidas a ensayo de compresión según la norma ASTM C39.

2.3.1.2 Flexión.

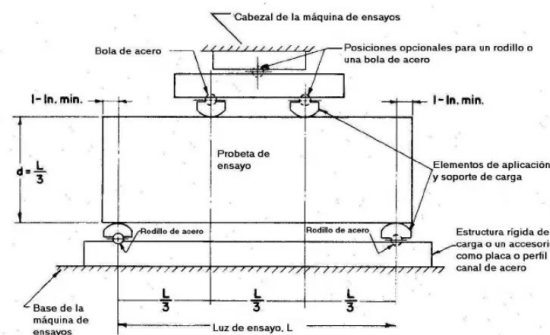
La flexión es la deformación que experimenta un elemento estructural al ser sometido a una carga transversal, provocando que su eje se curve estimulando el desarrollo de esfuerzos simultáneos de compresión y tensión a lo largo de su sección transversal. Debido a que las estructuras de hormigón son especialmente susceptibles a cargas accidentales de tipo dinámico, como las que resultan de explosiones o impactos, tienden a presentar fallas frágiles por punzonamiento o cortante.

Por lo tanto, una táctica efectiva para optimizar la respuesta del hormigón ante este tipo de requerimientos es aumentar la ductilidad y la habilidad para absorber energía a través de la incorporación de fibras (Sanz-Díez de Ulzurrun Casals & Zanuy Sánchez, 2017).

Así mismo National Ready Mixed Concrete Association (2020), en su publicación “CIP 16 - Resistencia a la flexión” sostiene que “el módulo de rotura es cerca del 10% al 20% de la resistencia a compresión, dependiendo del tipo, las dimensiones y el volumen del agregado grueso utilizado”. La norma más utilizada para llevar a cabo este ensayo es la ASTM C78 o a su vez su equivalencia en la norma ecuatoriana NTE INEN 2554.

Figura 3.

Diagrama de apoyos con aplicación de carga en los tercios de la longitud total para determinar la resistencia a flexión del hormigón.



Nota: Tomado de: ASTM C78 (2009)

La resistencia a la flexión se expresa como módulo de rotura. La fórmula que proporciona la ASTM C78 para calcular la resistencia a flexión es la siguiente.

- a) Si la fractura se inicia en la superficie de tracción dentro del tercio medio del largo de la luz, su módulo de rotura se calcula con la siguiente ecuación.

Ecuación 1.

Fórmula para determinar el módulo de rotura cuando la fractura está dentro del tercio medio de la luz.

$$Mr = \frac{PL}{bd^2}$$

Donde:

Mr: módulo de rotura, psi ó MPA

P: Carga máxima aplicada indicada por la máquina de ensayos, lbf ó N.

L: Largo de la luz, pulg o mm.

b: Ancho promedio de la probeta, pulg o mm, en la fractura.

d: Altura promedio de la probeta, pulg o mm, en la fractura.

- b) Si la fractura ocurre en la superficie de tracción fuera del tercio medio de largo de la luz en no más del 5% del largo de la luz, calcule el módulo de ruptura de la siguiente manera:

Ecuación 2.

Fórmula para determinar el módulo de rotura cuando la fractura esta fuera del tercio medio del largo de la luz (menos del 5% del largo de la luz).

$$Mr = \frac{3Pa}{bd^2}$$

Donde

a = Distancia promedio entre la línea de fractura y el apoyo más cercano medido en la superficie de tracción de la vida, pulg, o mm.

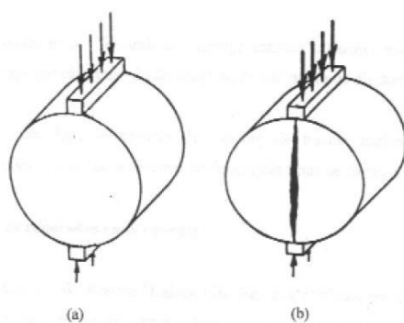
2.3.1.3 Tracción indirecta.

El ensayo de tracción indirecta destaca por ser un método simple y representativo, que permite simular como responde un pavimento flexible al aplicar una carga, y se usa para determinar la carga máxima que una muestra cilíndrica puede resistir antes de romperse. González & Alloza (2012)

La norma ASTM C496 es el estándar que establece el método para determinar la resistencia a tracción por hendimiento (tracción indirecta) de probetas cilíndricas de hormigón. Este procedimiento consiste en aplicar una carga diametralmente en compresión sobre un cilindro de hormigón, generando tensiones de tracción perpendicular a la carga que causan la rotura por tracción indirecta.

Figura 4.

Configuración de carga del ensayo de tracción indirecta.



Nota: a) Configuración de la carga, b) modo de falla del ensayo de tracción indirecta
Tomado de: *Garrote Villar (2006)*

Este ensayo se utiliza para medir la resistencia a la tracción del hormigón, parámetro mecánico fundamental para entender como el material reacciona ante la formación de grietas, especialmente en pavimentos flexibles y estructuras que soportan cargas laterales. La norma que regula este ensayo define con precisión las dimensiones de las probetas y los moldes, la velocidad con la que se debe aplicar la carga, y la fórmula para calcular el esfuerzo de tracción indirecta, garantizando que los resultados obtenidos sean confiables, repetibles y útiles para evaluar correctamente las propiedades del hormigón.

La rotura a tracción ocasiona el primer fallo, así que la resistencia a tracción indirecta durante la rotura se determina por medio de la ecuación siguiente.

Ecuación 3.

Carga máxima a tracción de la probeta

$$S_t = \frac{2P_{max}}{\pi t d},$$

Donde:

P_{max} : es la carga máxima o carga de rotura

S_t : es la resistencia a la rotura por tracción indirecta

t : es el espesor de la probeta

d : es el diámetro de la probeta

2.3.2 Propiedades.

2.3.2.1 Tenacidad.

La tenacidad en el hormigón simple, es decir sin ningún tipo de refuerzo, se refiere a la capacidad limitada que tiene este material para absorber energía antes de fracturarse. Dado que el hormigón es un material heterogéneo y con muy baja resistencia a tracción, su comportamiento ante cargas de impacto, sismo o flexión es típicamente frágil: la curva carga-deformación muestra una pérdida rápida de resistencia después de la fisuración.

A diferencia de los materiales dúctiles, el hormigón simple se caracteriza por su comportamiento frágil: resiste adecuadamente los esfuerzos de compresión, pero su desempeño en tracción y flexión es limitado, ya que no es capaz de deformarse significativamente una vez iniciado el proceso de fractura. Esta baja capacidad de absorción de energía y ductilidad es una de las principales razones por las cuales, en el diseño estructural, el hormigón suele requerir el uso de refuerzos adicionales para soportar solicitaciones de tracción y flexión. De hecho, a medida que se incrementa la

resistencia del hormigón, estas limitaciones en cuanto a tenacidad y absorción de energía tienden a acentuarse, evidenciando la necesidad de recurrir a técnicas de refuerzo más eficientes para mejorar su desempeño global (Figuroa Andrade, 2013).

Es por ello que, en el diseño estructural, el hormigón es principalmente empleado para resistir los esfuerzos de compresión, mientras que los esfuerzos de tracción y flexión deben ser resistidos por armaduras metálicas, pasando a ser hormigón armado.

2.3.2.2 Fragilidad.

La fragilidad es una propiedad mecánica característica del hormigón simple. El material, por si solo sin presencia de refuerzo, tiende a fallar de forma súbita cuando alcanza su resistencia máxima de flexión y tracción. La baja capacidad de deformación plástica de este tipo de material evita la presencia de grandes deformaciones previas a la rotura, por consecuencia no da lugar a una visible advertencia ante sobrecargas o acciones sísmicas.

Tales características del comportamiento mecánico del hormigón simple en cuanto a fragilidad son mencionadas por Haga clic o pulse aquí para escribir texto., que destaca la nula deformación de este antes de fracturarse. Seguidamente se explica que el principal causante de dicho comportamiento se debe a su baja ductilidad, y que se ve expuesto en la incapacidad para absorber energía cuando enfrenta cargas dinámicas o concentradas, provocando una falla abrupta y un colapso inmediato.

La fragilidad que presenta el hormigón simple impide su uso en áreas con actividad sísmica o en elementos que deben soportar flexión importante. Por eso, resulta esencial contar con acero de refuerzo, que aporta la flexibilidad y capacidad de deformación necesaria para que la estructura pueda resistir sin llegar al colapso.

2.3.2.3 Ductilidad.

La alta ductilidad de un material le permite tolerar considerables deformaciones plásticas antes de llegar al colapso. En cuanto al hormigón simple, su ductilidad es limitada o prácticamente nula; su mecánica frágil y la estructura interna impiden redistribuir esfuerzos una vez que aparece la primera fisura.

Según Al-Dala'ien et al. (2023), el hormigón en general es un material frágil, por ello edificios construidos con hormigón presentan una alta probabilidad de fallar local o globalmente cuando se someten a esfuerzos dinámicos e impulsivos. En este contexto, Navarro-Gómez & Bonet (2019) señalan que, en el diseño de edificios de hormigón ubicados en zonas sísmicas, se recurre a la ductilidad como mecanismo para reducir los esfuerzos de diseño y disipar energía. Sin embargo, este enfoque conlleva ineludiblemente a la creación de daños estructurales, como las deformaciones entre plantas, que más tarde necesitan ser reparados o incluso pueden llegar a requerir la demolición parcial del inmueble para asegurar su seguridad y funcionalidad.

Así, tanto por motivos económicos y de seguridad ocupacional, el diseño estructural actual no toma en cuenta al hormigón simple como un material dúctil por naturaleza. Su ductilidad tiene que ser proporcionada por el uso de armaduras de acero.

2.3.2.4 Fisuración.

Barros Balladares & Larrea Carpio (2025) argumenta que el hormigón simple es propenso a desarrollar fisuras inmediatas, afectando su durabilidad y su notable apariencia.

Las grietas pueden formar parte del hormigón por varias causas, como cambios de temperatura que provocan dilataciones y contracciones, la retracción que ocurre durante el fraguado cuando el material pierde humedad, y también por cargas repetidas que se aplican en el día a día. Estas fisuras facilitan que el agua y otros agentes dañinos penetren, acelerando el desgaste del material y aumentando la necesidad de reparaciones constantes para mantener la estructura en buen estado.

La fisuración en el hormigón, definida por Peña et al. (2022), es un fenómeno asociado a su comportamiento frágil y a su baja resistencia a tracción, esto conlleva a la aparición inevitable de grietas bajo sollicitaciones de cargas de servicio. Estas aberturas comprometen la durabilidad de las estructuras, debido a que las fisuras actúan como un camino preferencial para la entrada de agentes agresivos, acelerando los procesos de deterioro del hormigón armado. En este contexto, Robuschi et al. (2023) reitera que la presencia de grietas incrementa el riesgo de corrosión de las armaduras,

ya que generan condiciones favorables para la penetración de cloruros y la formación de picaduras de corrosión en la proximidad de la fisura

Por lo tanto, en el diseño de estructuras de hormigón convencional, se aplican estrategias preventivas para minimizar y controlar la fisuración, como un adecuado curado, control de la relación agua-cemento, juntas de control y un correcto detallado estructural.

2.4 MÉTODO ACI 211.1

El código ACI 211.1, práctica estándar para seleccionar proporciones para hormigón normal, pesado y masivo, cuya autoría corresponde al American Concrete Institute, es una guía ampliamente usada para el diseño de mezclas de hormigón, su procedimiento permite seleccionar resistencia requerida, revenimiento, tamaño máximo del agregado y otros criterios que aseguran una adecuada trabajabilidad de la mezcla por obtener.

Su metodología se basa en los siguientes pasos:

- Elección de la resistencia a la compresión esperada.
- Establecer la relación agua/cemento óptimo.
- Elección del contenido de aire, en función de durabilidad y condiciones de exposición.
- Elección del asentamiento buscado, de acuerdo con la trabajabilidad.
- Determinación del contenido de agua y aire acorde a la mezcla.
- Cálculo de proporciones de agregados, tanto finos y gruesos.
- Ajustes de las proporciones por absorción y humedad presente en los agregados.

Este método proporciona un procedimiento sistemático que facilita la obtención de una mezcla de hormigón con propiedades controladas, permitiendo realizar ajustes precisos basados en resultados experimentales y en las condiciones específicas del proyecto, con el fin de garantizar la calidad y el adecuado desempeño estructural del hormigón durante su vida útil.

2.5 FIBRAS COMO REFUERZO PARA EL HORMIGON

Las fibras son filamentos cortos, pequeños y alargados. Su uso en mezclas de hormigón tiene el propósito de mejorar ciertas propiedades mecánicas y fisicoquímicas. Su distribución es netamente aleatoria en cuanto a posición y orientación, y uniforme volumétricamente.

2.5.1 Ventajas y desventajas de las fibras en el hormigón.

El hormigón simple tiene varios problemas estructurales que restringen su rendimiento, sobre todo cuando se trata de cargas dinámicas o esfuerzos de tracción. Los siguientes son algunos de los más importantes: la fisuración, la fragilidad, la poca ductilidad y la baja tenacidad. La fragilidad de la matriz cementicia es la causa de estas conductas. Si bien esta tiene una resistencia significativa a la compresión, su capacidad para absorber energía o deformarse sin romperse es muy limitada.

Autores como Aizaga (2024), señalan estas claras desventajas en el hormigón tradicional expresando que este “se caracteriza por su rigidez y resistencia a compresión, pero con una tendencia marcada a la fisuración cuando se somete a tracción o flexión”. Dicha desventaja influye directamente en la durabilidad y desempeño estructural a lo largo del tiempo. Así, la nula ductilidad junto al desarrollo de fisuras puede generar un deterioro prematuro del material. Por consiguiente, en décadas recientes se aprecia un notable interés por el desarrollo y estudio de hormigones que incorporan fibras que modifiquen su estructura interna y fortalezcan su capacidad de resistir los esfuerzos de post-fisuración.

El hormigón reforzado con fibras (HRF) se consolida como una respuesta eficiente frente a estos problemas ya mencionados, al introducir elementos filamentosos actuando como puentes de transferencia para resistir los esfuerzos que se desarrollan dentro de la matriz cementicia. Especialmente la adición de fibra de acero permite mejorar significativamente la tenacidad, la ductilidad, ayudando significativamente con el control de fisuras, contrarrestando la fragilidad inherente del hormigón simple.

2.5.1.1 Ventajas.

Una de las principales ventajas de la incorporación de fibras de acero en el hormigón es la mejora en su tenacidad y ductilidad. Como señala Cuenca Asensio (2021), “la presencia de fibras de acero en una viga con estribos mejora la ductilidad ya que las fibras previenen la fisuración y ayudan a controlarla”. Este efecto implica que el material tiene una capacidad más alta para deformarse y absorber energía ante exigencias externas, lo que previene la rotura frágil y ofrece una respuesta posterior a la fisuración más firme y estable.

Isla (2014) describe el comportamiento mecánico de la fibra en la mezcla y afirma que favorece la aparición de muchas fisuras pequeñas en lugar de unas pocas grandes y concentradas. Esto hace que el hormigón sea más flexible y seguro frente a situaciones extremas, además de mejorar su capacidad para absorber energía y mantener un buen comportamiento después de que aparezcan las fisuras.

Este mecanismo de los filamentos concuerda con las afirmaciones de Mármol Salazar (2010) quien asegura que la adición de fibras de acero al hormigón proporciona una mejora significativa en el control de fisuración, esto es gracias a que las fibras actúan como refuerzo tridimensional que cosen las micro-fisuras y aumentan la capacidad de absorción de energía. Estas fibras pueden incluso permitir la reducción en gran medida de la dependencia del refuerzo convencional en ciertos elementos estructurales al aumentar la capacidad de carga después de la fisuración.

X. Li et al. (2019) sustenta estas ventajas mediante un análisis comparativo basándose en ensayos de propiedades mecánicas que muestran cómo la resistencia a compresión, flexión y tracción del hormigón con fibras de acero de altas prestaciones (HPSFRC) resultan ser mayores que las del hormigón convencional. La incorporación de fibras de acero mejora de forma evidente las resistencias a tracción y flexión del hormigón simple, pero tiene poca influencia sobre la resistencia a compresión.

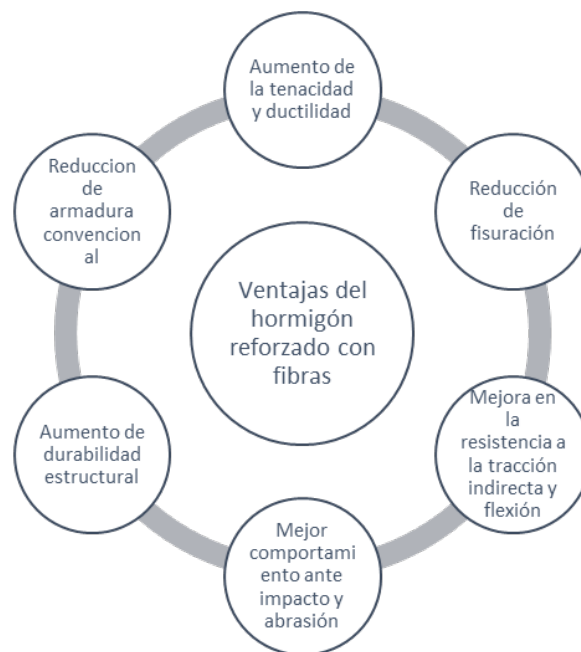
De igual forma, Paulet al. (2020) resalta que el hormigón reforzado con fibras tiene mayor durabilidad debido a que disminuye la penetración de elementos dañinos en las partes estructurales, tales como el agua, los cloruros y el dióxido de carbono.

Zerbino (n.d.), en cambio, se centra más en el aspecto económico, declarando que añadir fibras al hormigón no solo mejora la durabilidad y el rendimiento estructural, sino que además produce significativos beneficios económicos, a causa de la posibilidad de espaciar más las juntas, reducir los espesores, construir sobre sustratos de calidad inferior, sustituir parcialmente las barras de acero convencionales y disminuir la necesidad de reparación y mantenimiento. Todo esto propicia un uso más eficiente de los recursos y extiende el tiempo útil del sistema estructural. Según los autores citados, las principales ventajas del hormigón reforzado con fibras de acero son las siguientes:

- Aumento de la tenacidad y ductilidad
- Reducción de fisuración.
- Mejora de resistencia a tracción indirecta y flexión.
- Mejor comportamiento ante impacto y abrasión
- Aumento de durabilidad estructural
- Reducción de uso de armadura convencional

Gráfico 1.

Ventajas del hormigón reforzado con fibras



2.5.1.2 Desventajas.

La adición de fibras de acero al hormigón no siempre resulta favorable y puede presentar desventajas. Principalmente, reduce la trabajabilidad del hormigón fresco, lo que complica su manejo y requiere ajustar la mezcla o agregar aditivos para que quede homogénea, sobre todo cuando la cantidad de fibras es alta. Además, las fibras pueden agruparse formando apelmazamientos que afectan la uniformidad del material, lo que puede perjudicar las propiedades finales del hormigón y su comportamiento estructural si no se controla adecuadamente.

En este sentido otros autores como, Isla (2014) señala que es fundamental asegurar la adecuada dispersión de las fibras, puesto que una distribución inadecuada puede comprometer las propiedades mecánicas obtenidas y afectar la calidad superficial del hormigón. De la misma forma, se resalta la importancia de contar con una supervisión constante y experiencia técnica para obtener mezcla óptima, evitando que las fibras se segreguen o se apelmacen durante el proceso de mezclado y vertido en los moldes cilíndricos o prismáticos.

La incorporación de fibras de acero en el hormigón puede generar variabilidad en la resistencia a compresión debido a la dispersión en su distribución dentro de la mezcla, a la trabajabilidad reducida y a la posibilidad de formación de vacíos alrededor de las fibras.

Y. Li et al. (2022) estudia la relevancia del manejo de las fibras en el proceso de mezclado y su impacto directo. Cuando no se mantiene un adecuado control de calidad durante la preparación y colocación del hormigón reforzado con fibras, la resistencia a compresión obtenida en los ensayos puede mostrar una considerable variabilidad entre los distintos especímenes. Esta dispersión en los resultados suele estar relacionada con factores como el modo y tiempo de mezclado el grado de homogeneidad en la distribución de las fibras y la precisión en la dosificación de los materiales. Una mezcla homogénea y procedimientos controlados son esenciales para garantizar que el hormigón mantenga sus propiedades mecánicas esperadas y que las

ventajas de la incorporación de fibras se reflejen de manera consistente en el desempeño estructural del material.

El uso de fibras de acero, particularmente en ambientes expuestos a salinidad, cloruros o procesos de carbonatación, provoca un grado de incertidumbre relacionado con la corrosión. Según Mármol Salazar (2010), cuando la capa pasivadora se pierde en componentes metálicos que están sumergidos en la matriz cementicia, pueden producirse una reducción de adherencia entre fibra y matriz, una expansión y desprendimiento superficial, lo cual compromete la durabilidad del material. Por lo tanto, la literatura técnica recomienda que, al diseñar hormigón con adición fibras para entornos hostiles se adopten medidas suplementarias.

De acuerdo con los autores citados, las desventajas del hormigón reforzado con fibras son las siguientes:

- Reducción de trabajabilidad
- Dificultades del mezclado
- Variabilidad en la resistencia de compresión
- Riesgo de corrosión en fibras metálicas
- Costo adicional

Gráfico 2.

Desventajas del hormigón reforzado con fibras



2.6 CLASIFICACIÓN DE FIBRAS

2.6.1 Fibras naturales.

Son fibras obtenidas de fuentes vegetales o animales, como coco, bambú, plátano.

2.6.1.1 Antecedentes históricos

Las fibras naturales, como refuerzo en el hormigón, tiene precedentes desde la antigüedad, tales como los mesopotámicos y los egipcios quienes solían emplear técnicas para añadir fibras vegetales y paja a ladrillos de barro y morteros con el objetivo de optimizar la cohesión del material y prevenir la aparición de fisuras. Estas prácticas, que datan aproximadamente del 2500 a.C., han perdurado por siglos. De hecho, en Europa se utilizaron hasta comienzos del siglo XX.

2.6.2 Fibras sintéticas.

Producidas a partir de polímeros, estas fibras ofrecen resistencia química, mecánica moderada y mejoran el control del agrietamiento por contracción.

2.6.2.1 Antecedentes históricos.

El uso de fibras sintéticas en el hormigón como material de refuerzo comenzó a investigarse en la década de 1960. Por ejemplo, en 1965 se reportaron por primera vez ensayos con fibras de monofilamento sintéticas aplicadas en estructuras resistentes a explosiones para el U.S. Army Corps of Engineers. Estas fibras presentaban longitudes de entre 13 y 25 mm y una relación de aspecto (L/D) entre 50 y 100. Los resultados demostraron que, aun en dosis bajas ($\approx 0,5$ % en volumen), las fibras sintéticas pueden mejorar la ductilidad y la resistencia al impacto del hormigón, sentando así un precedente para su uso en aplicaciones civiles e industriales .

2.6.2.2 Tipos de fibras sintéticas

El ACI 544 define que las fibras sintéticas empleadas en el hormigón reforzado provienen de polímeros orgánicos y se encuentran disponibles en diversas formulaciones adaptadas a distintas aplicaciones. Estas fibras han sido evaluadas

principalmente en matrices de hormigón de cemento Portland, destacando entre ellas las siguientes:

- a) **Acrílicas.** fibras basadas en poliacrilonitrilo u otros polímeros acrílicos. Se emplean como microfibras para reducir fisuración temprana (por contracción plástica) en hormigón.
- b) **Aramidas.** estas fibras se obtienen a partir de polímeros aromáticos de amida y destacan por su alta resistencia a la tracción, adecuado modulo elástico y excelente estabilidad térmica, cualidades que las hacen idóneas para aplicaciones que requieren materiales ligeros pero capaces de soportar condiciones extremas y cargas exigentes.
- c) **Carbono.** las fibras de carbono están compuestas principalmente por carbono y poseen un módulo de elasticidad y una resistencia excepcionalmente altos. Estas características hacen que se empleen en situaciones donde se demandan una rigidez superior y una eficiente transferencia de carga tras la aparición de fisuras.
- d) **Nylon.** por su parte, es una fibra basada en poliamidas comunes que aporta una tenacidad moderada, buena adherencia y una capacidad de elongación apreciable, permitiendo así que el material absorba y disperse energía bajo cargas dinámicas.
- e) **Poliéster.** fibras de tereftalato de etileno u otros poliésteres; se utilizan en aplicaciones donde se requiere un buen rendimiento y resistencia a entornos hostiles
- f) **Polietileno.** pueden tener bajo peso, buena resistencia química y pueden usarse en mezclas especiales.
- g) **Polipropileno.** Su uso más común es como microfibras para controlar fisuración temprana (plástica y por retracción), debido a que son económicamente viables, relativamente inertes químicamente, ligeras y fáciles de distribuir en la matriz de hormigón. (También aparecen en dos formas: microfibras pequeñas para control de fisuración temprana y macrofibras para mejorar capacidad post-fisura.

Cada una con características particulares que contribuyen al control de fisuración, la mejora de la resistencia y el incremento de la durabilidad del material compuesto.

2.6.3 Fibra de vidrio.

Las fibras de vidrio texturizado se elaboran a partir de filamentos de vidrio tratados térmicamente y cortados en formas específicas para mejorar su anclaje dentro de matrices cementicias. Estas fibras aportan una alta resistencia a la tracción y un notable control sobre la formación y propagación de fisuras, lo que contribuye a la durabilidad y estabilidad de los materiales compuestos. Sin embargo, es importante señalar que, si no degradarse con el tiempo al estar en contacto con el cemento Portland.

2.6.3.1 Antecedentes históricos.

La investigación sobre el uso de fibras de vidrio en matrices cementicias se remonta a la década de 1950, cuando surgió la necesidad de desarrollar refuerzos alternativos al acero que aportan ligereza y una dispersión eficiente dentro del concreto. Sin embargo, los primeros ensayos evidenciaron que el vidrio convencional experimentaba una degradación acelerada en el ambiente altamente alcalino generado por el cemento Portland, lo que restringió inicialmente su uso. Este desafío fue superado hacia finales de la década de 1960 con la introducción de las fibras de vidrio alcalino resistente (AR), fabricadas mediante la incorporación de óxido de circonio en su composición química. Esta innovación permitió que el concreto reforzado con fibra de vidrio (GFRC) se consolidara como una opción técnica viable, especialmente en la producción de elementos prefabricados delgados y soluciones arquitectónicas, donde se valoran tanto el bajo peso como la buena resistencia a la fisuración.

2.6.4 Fibra de acero.

La fabricación de fibras de acero consiste en someter alambre de acero a procesos de tratamiento térmicos y corte controlado, obteniendo filamentos cortos de distintas formas, como recta con gancho y ondulada, para optimizar su anclaje en la matriz cementicia. (DEACERO, 2022) ve esta aplicación ideal para elementos de alto

desempeño en el ámbito de la construcción. Esto se sustenta por la dispersión aleatoria de la fibra dentro del hormigón durante la mezcla, que actúa como refuerzo multinivel, mejorando notablemente la resistencia a la tracción, permitiendo que el concreto soporte esfuerzos posteriores a la fisuración y exhiba un comportamiento más dúctil y seguro frente a cargas estructurales y condiciones exigentes.

2.6.4.1 Antecedentes históricos.

El hormigón reforzado con fibras (FRC) es un material compuesto que incorpora fibras cortas y discretas distribuidas aleatoriamente en la matriz cementosa para mejorar sus propiedades mecánicas y durabilidad. De acuerdo con Flor Chávez et al. (2019), la primera patente de un hormigón reforzado con fibras tuvo lugar en California en 1847, cuando A. Berard se basó en una piedra artificial que utilizaba acero granular procedente de desechos de refuerzo de hormigón.

Mármol, P. (2010) sitúa al uso de fibras de acero como filamentos en el hormigón a principios del siglo XX, cuando Graham en 1911 usó fibras metálicas para mejorar la resistencia y estabilidad del hormigón armado tradicional. Estudios posteriores como los de Griffith en 1920, G. Martin en 1927, Romualdi y Batson en 1963 sentaron las bases científicas para su desarrollo.

2.6.4.2 Geometría y tipos de fibras de acero.

Según la norma ASTM A 820, las fibras de acero se pueden clasificar en 4 tipos generales basados en los productos existentes utilizados como fibra de acero. Estas son:

- a) Tipo I:** Alambre estirado en frío
- b) Tipo II:** Lamina cortada
- c) Tipo III:** Extraídas por fusión
- d) Tipo IV:** otras fibras

También pueden clasificarse según su sección transversal, como lo hace la sociedad japonesa de ingenieros civiles (JSCE). Estas son:

- a) Tipo I:** Sección cuadrada

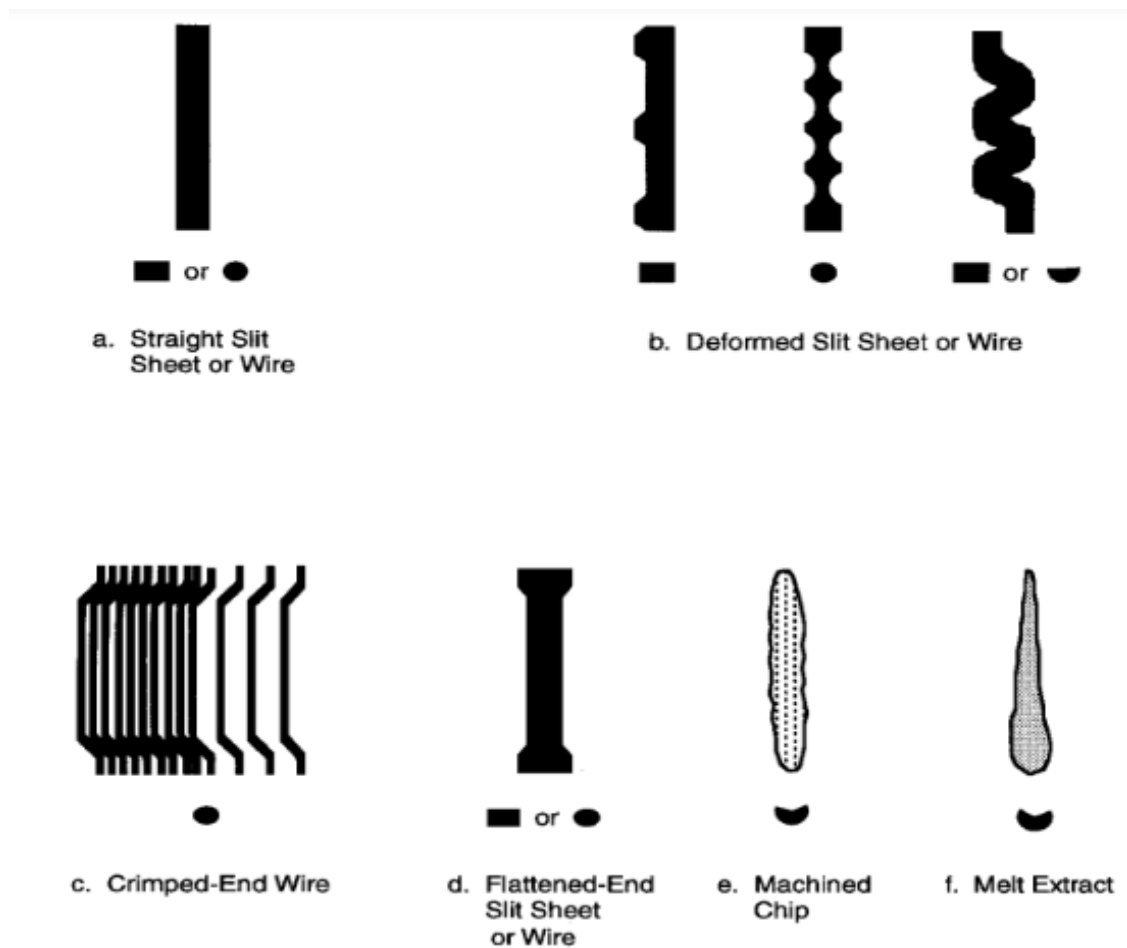
b) **Tipo II:** Sección circular

c) **Tipo III:** Sección creciente (media luna)

Para el ACI Comité 544.1 R-96 (2002), las fibras de acero utilizadas en el hormigón presentan diferentes formas y métodos de fabricación.

Figura 5.

Geometría de los tipos de fibras de acero.



Nota: Tomado de American concrete institute (1996), ACI 544.1R-96.

CAPITULO III: METODOLOGÍA

3.1 TIPO DE INVESTIGACION

La presente investigación es de tipo experimental debido a que se manipularan variables específicas (porcentajes de fibras de acero) para observar su efecto en hormigón con resistencia $f'c= 210\text{kg/cm}^2$. Esto implica la elaboración de probetas en laboratorio y el desarrollo de ensayos controlados que permiten medir propiedades como resistencia a compresión, flexión y resistencia a la tracción indirecta. Este tipo de estudio es fundamental en ingeniería civil para validar y optimizar materiales constructivos.

3.2 ENFOQUE METODOLÓGICO

El enfoque de esta investigación será cuantitativo debido a que recolectaran y analizaran datos numéricos precisos sobre las propiedades mecánicas del hormigón variando el porcentaje y los tipos de fibras de acero. Para la ingeniería y la construcción es fundamental que el análisis cuantitativo posibilite un estudio objetivo y replicable.

3.3 DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

El diseño experimental adoptado en esta investigación es de tipo comparativo, donde se elaboran diferentes mezclas de concreto con adiciones de dos tipos de fibra de acero con gancho y ondulada en proporciones del 0.5%, 0.75% y 1% con respecto al volumen del concreto, junto con un patrón de mezcla sin fibra como referencia. Se preparan varias muestras para cada condición, siguiendo estrictamente normas como INEN y ASTM, lo que garantiza la reproducibilidad y estandarización de los resultados. Cada muestra se somete a ensayos mecánicos clave, incluyendo resistencia a compresión, flexión y tracción indirecta, con el fin de evaluar de manera integral el comportamiento del hormigón reforzado. Este enfoque no permite solo analizar las mejoras en ductilidad y tenacidad, sino también identificar posibles efectos en la

trabajabilidad y durabilidad del material. Finalmente, se determinará el porcentaje óptimo de fibra que maximiza el rendimiento mecánico, ofreciendo mayor confiabilidad y seguridad para su aplicación en futuras obras civiles, como pavimentos, elementos estructurales y rehabilitación.

3.4 POBLACIÓN Y MUESTRA

3.4.1 Población.

La población en esta investigación está conformada por el conjunto de todas las posibles mezclas de hormigón con una resistencia característica de $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ elaboradas con diferentes porcentajes de fibra de acero como refuerzo. Esta población incluye tanto el hormigón convencional como hormigones con incorporación de diversos tipos y proporciones de fibra de acero dentro de rangos técnicamente viables y utilizados en la industria de la construcción civil.

Desde el punto de vista técnico, la población comprende todas las dosificaciones estándar de hormigón a $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$, que pueden contener desde el 0% hasta porcentajes máximos recomendados de fibra de acero (normalmente entre 0.5%, 0.75% y 1% en volumen). Además, este límite nos permite comprobar como la fibra de acero cambia la resistencia, asegurándonos de que los hallazgos de nuestro estudio sean representativos.

3.4.2 Muestra.

En esta investigación, la muestra corresponde al conjunto representativo de probetas de hormigón que serán elaboradas y sometidas a ensayos de laboratorio para obtener resultados confiables. No obstante, la selección de las muestras debe realizarse tomando en cuenta, la disponibilidad de tiempo y capacidad del laboratorio, la posibilidad de repetir las pruebas buscando un balance que permita conclusiones validas y representativas.

Para la evaluación del comportamiento mecánico del hormigón se contempló la ejecución de un total de 56 ensayos de compresión a edades correspondientes de 7, 14, 21, 28 días de curado, 21 ensayos de flexión a edades de 7 y 28 días, 14 muestras de ensayo de tracción indirecta con edad de 28 días

distribuidos en las diferentes dosificaciones diseñadas (mezcla patrón y con adición de fibras con gancho y ondulada).

Cantidad total de probetas cilíndricas ensayadas a compresión:

Tabla 1.

Número de cilindros de hormigón- Ensayo de compresión.

DISEÑO DE HORMIGON	PERIODO DE CURADO			
	7 DIAS	14 DIAS	21 DIAS	28 DIAS
Hormigón patrón	2	2	2	2
H210 + 0,5% fibra de acero con gancho	2	2	2	2
H210 + 0,75% fibra de acero con gancho	2	2	2	2
H210 + 1% fibra de acero con gancho	2	2	2	2
H210 + 0,5% fibra de acero ondulada	2	2	2	2
H210 + 0,75% fibra de acero ondulada	2	2	2	2
H210 + 1% fibra de acero ondulada	2	2	2	2
Total, por edad de curado	14	14	14	14
Total, general de especímenes	56			

Tabla 2.

Número de vigas de hormigón- Ensayo de Flexión.

DISEÑO DE HORMIGON	PERIODO DE CURADO	
	7 DIAS	28 DIAS
Hormigón patrón	1	2
H210 + 0,5% fibra de acero con gancho	1	2
H210 + 0,75% fibra de acero con gancho	1	2
H210 + 1% fibra de acero con gancho	1	2
H210 + 0,5% fibra de acero ondulada	1	2
H210 + 0,75% fibra de acero ondulada	1	2
H210 + 1% fibra de acero ondulada	1	2
Total, por edad de curado	7	14
Total, general de especímenes	21	

Cantidad total de probetas cilíndricas ensayadas a tracción indirecta o ensayo brasilero:

Tabla 3.*Número de Cilindros- Ensayo de Tracción Indirecta.*

DISEÑO DE HORMIGON	PERIODO DE CURADO
	28 días
Hormigón patrón	2
H210 + 0,5% fibra de acero con gancho	2
H210 + 0,75% fibra de acero con gancho	2
H210 + 1% fibra de acero con gancho	2
H210 + 0,5% fibra de acero ondulada	2
H210 + 0,75% fibra de acero ondulada	2
H210 + 1% fibra de acero ondulada	2
Total, general de especímenes	14

3.5 METODOLOGIA OBJETIVO ESPECIFICO 1: CARACTERIZACIÓN DE AGREGADOS

Para garantizar que el hormigón con una resistencia característica de $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$ alcance sus propiedades optimas y durabilidad, es fundamental realizar una inspección minuciosa de la calidad de la arena y la piedra utilizadas como agregados. Estos materiales representan cerca del 70% del volumen total del hormigón, por lo tanto, tienen un papel decisivo en su resistencia final, tiempo de vida útil de la estructura y la trabajabilidad de la mezcla.

3.5.1 Procedimiento y Normas Aplicados Para los Materiales

3.5.1.1 Granulometría.

El análisis granulométrico desempeña un papel fundamental en la caracterización de los agregados, permitiendo verificar el cumplimiento de las normas técnicas ASTM C136, ASTM C33 y NTE INEN 696. Esta evaluación asegura que los materiales utilizados posean una distribución adecuada de tamaños de partícula y una gradación optima, lo que repercute positivamente en la resistencia, durabilidad y trabajabilidad del hormigón.

a) Granulometría de agregado grueso.

El análisis granulométrico del agregado grueso consiste en determinar la distribución porcentual de tamaños de sus partículas mediante tamizado en una serie de tamices con aberturas desde 38 mm hasta 4.75mm, separando las partículas mayores de 4.75 mm típicas de gravas. Se pesan las partículas retenidas en cada tamiz y se calcula el porcentaje acumulado para trazar la curva granulométrica, que indica la gradación del agregado y su adecuación para obtener una mezcla densa y resistente en el hormigón.

b) Granulometría de agregado fino

El análisis granulométrico se lleva a cabo mediante el proceso de tamizado de partículas más pequeñas que 4.75mm en tamices que tienen aberturas hasta 0.075 mm (No. 200). La curva granulométrica generada posibilita el cálculo de índices, como el módulo de finura, los cuales tienen un impacto en la trabajabilidad y cantidad de pasta requerida en la mezcla. Una graduación apropiada del hormigón mejora su compactación, densidad y comportamiento mecánico del hormigón.

Para realizar este ensayo, se emplearon los siguientes equipos, materiales y procedimiento:

Materiales y equipos

- ✓ Agregado grueso y Agregado fino
- ✓ Balanza
- ✓ Tamices 1", 3/4 ", 1/2 ", 3/8 ", No.4, No.8, No.16, No.30, No.50, No.100, No.200, fondo.
- ✓ Cuchara
- ✓ Recipiente metálico (taras)

Procedimiento

Agregado grueso:

- ✓ Cuartear el agregado grueso para la toma de muestras
- ✓ Tamizar de manera manual el agregado grueso desde el tamiz 1" hasta el de No. 16 seguido del fondo como lo muestra la figura 8.
- ✓ Pesar el material retenido en los diferentes tamices y registrar

Agregado fino:

- ✓ Cuartear el agregado fino para la toma de muestras
- ✓ Tamizar de manera manual el agregado grueso desde el tamiz 3/8" hasta el de No. 200 seguido del fondo.
- ✓ Pesar el material retenido en los diferentes tamices y registrar como lo muestra la figura 9.

Figura 6.

Proceso de tamizado de agregado grueso.



Figura 7.

Proceso de registro de pesos retenidos en tamices.



3.5.1.2 Contenido de Humedad.

El contenido de humedad determina la cantidad de agua que contienen los agregados, esencial para hacer correcciones en el agua de mezclado y lograr la

trabajabilidad requerida sin alterar la resistencia. Está regido por regulaciones como la ASTM C566 y NTE INEN 862.

Materiales y equipos

- ✓ Agregado fino y grueso
- ✓ Balanza
- ✓ Recipiente resistente al calor (taras)
- ✓ Horno 110 ± 5 °C

Procedimiento

- ✓ Tomar una muestra representativa de los agregados en un recipiente
- ✓ Pesar el recipiente más agregado para determinar su masa humedad
- ✓ Introducir la muestra al horno durante 24 horas
- ✓ Pasada las 24 horas enfriar a temperatura ambiente
- ✓ Tomar peso seco de las muestras
- ✓ Cálculo de contenido de humedad total

3.5.1.3 Densidad Óptima, Densidad Relativa en Estado Saturado (Gravedad Específica S_{ss}) Y Absorción.

a) Densidad óptima (aparente suelta y compactada).

La densidad óptima de los agregados es la máxima compactación que pueden alcanzar al eliminar los vacíos entre partículas. Conocer esta densidad permite diseñar mezclas con mejor compactación, reduciendo vacíos, aumentando la resistencia y durabilidad del hormigón.

Materiales y equipos

- ✓ Agregado fino y grueso
- ✓ Balanza
- ✓ Varilla de compactación
- ✓ Enrasador
- ✓ Cuchara
- ✓ Moldes cilíndricos
- ✓ Bandeja metálica

Procedimiento

Densidad aparente suelta de los agregados:

- ✓ Llenar el molde con el material de manera suelta, de tal manera que rebose el molde y se procede a enrasar desplazando el agregado hacia los lados.
- ✓ Pesar el molde con el agregado suelto como se observa en la figura 10
- ✓ Repetir de modo que tengamos al menos dos valores de peso del agregado + molde y promediar resultados
- ✓ Calcular la densidad suelta

Densidad compactada de los agregados:

- ✓ Colocar hasta 1/3 del molde con agregado y compactar dando 25 varilladas.
- ✓ Colocar agregado hasta 2/3 del molde y compactar nuevamente
- ✓ Llenar el molde hasta que rebose con el agregado, compactar y se enrasa como se observa en la figura 11
- ✓ Pesar el molde con el material compactado
- ✓ Repetir de modo que tengamos al menos dos valores del peso del agregado compactado + molde y promediar resultados
- ✓ Calcular la densidad compactada

Figura 8.

Registro de peso suelto de agregado mas molde.



Figura 9.

Vaciado de molde con agregado, compactacion y enrrasado.



b) Densidad saturada superficialmente seca y Absorción

La densidad relativa en estado saturado es la relación entre la masa de una cantidad de agregado saturado y la masa del mismo volumen de agua. Esta propiedad es crucial para el diseño de mezcla y se determina según ASTM C127 para agregados gruesos ASTM C128 para agregados finos. En Ecuador las normas NTE INEN 855 y NTE INEN 856 regulan estos ensayos.

Mediante el empleo de las normas técnicas se determinó el porcentaje de absorción de agua en los agregados saturados y superficialmente secos. Esta característica influye en la relación a/c y en la trabajabilidad del hormigón.

Materiales y equipos

- ✓ Agregado fino y grueso en estado saturado superficialmente seca
- ✓ Balanza
- ✓ Picnómetro
- ✓ Canastilla metálica
- ✓ Toallas absorbentes
- ✓ Recipiente de agua
- ✓ Horno (150 °C)

Procedimiento

Agregado grueso:

- ✓ Obtener una muestra representativa del agregado grueso y registrar su masa
- ✓ Sumergir la muestra en agua durante un mínimo de 24 horas para asegurar que todas las partículas estén completamente saturadas
- ✓ Retirar la muestra del agua y secar superficialmente usando toallas absorbentes para eliminar el agua de la superficie de las partículas sin permitir que el agua interna se evapore
- ✓ Pesar la muestra en estado SSD y registrar la masa
- ✓ Pesar la muestra sumergida en agua utilizando una canastilla metálica suspendida en el agua y registrar la masa como se observa en la figura 12
- ✓ Secar la muestra en horno a 150°C hasta alcanzar una masa constante y registrar la masa seca

Agregado fino:

- ✓ Obtener una muestra representativa del agregado fino y registrar su masa
- ✓ Sumergir la muestra en agua durante 24 horas
- ✓ Eliminar el exceso de agua empleando un ligero flujo de aire y agitación constante
- ✓ Colocar la muestra en frasco picnómetro
- ✓ Llenar el frasco con agua hasta el nivel de calibración, pesar y registrar la masa total (frasco + agregado + agua) como se observa en la figura 13
- ✓ Secar el agregado en una estufa a 150°C hasta alcanzar una masa constante y registrar la masa seca

Cono truncado del agregado fino:

- ✓ Para determinar el estado superficialmente seco del árido fino, se toma una muestra y se lleva el molde de manera suelta, procurando que el material no este compactado inicialmente
- ✓ Se procede a compactar el material con 25 golpes ligeros distribuidos de manera uniforme sobre la superficie, según el procedimiento indicado en la norma INEN 856.

- ✓ Una vez realizado este procedimiento, se evalúa si el material conserva la forma del molde al ser retirado. Si la muestra mantiene la forma, se considera que el árido se encuentra superficialmente seco. En caso contrario, si el material colapsa o pierde la forma, la muestra se clasifica como superficialmente húmeda.

Figura 10.

Proceso de sumergir el agregado utilizando una canastilla metálica



Figura 11.

Proceso llenado de frasco más agua y agregado fino



3.5.2 Revenimiento o Slump.

Es un ensayo para determinar la consistencia y trabajabilidad del hormigón fresco. Un revenimiento adecuado asegura que la mezcla sea lo suficientemente

fluida para su colocación y compactación, pero sin segregación o excesiva agua libre, lo cual afecta negativamente la resistencia mecánica. El ensayo de revenimiento sigue la norma ASTM C143 y NTE INEN 1578.

Cada uno de estos ensayos es fundamental para controlar y optimizar la mezcla de hormigón con fibras de acero, garantizando que el material tenga la resistencia estructural requerida $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ y el comportamiento mecánico esperado. Además, seguir normas internacionales y locales en estos ensayos otorga rigor y validez a la investigación, útil para su posterior aplicación en obras civiles.

3.6 METODOLOGIA OBJETIVO ESPECIFICO II: DISEÑO DE MEZCLA PATRON Y CON FIBRAS DE ACERO.

3.6.1 Diseño.

La aplicación del método ACI 211 es ampliamente reconocida en ingeniería civil debido a que permite ajustar de manera precisa las proporciones de cemento, agua, agregados finos y gruesos, para alcanzar las propiedades deseadas de resistencias, durabilidad y trabajabilidad del hormigón. Además, considera criterios fundamentales como el tamaño máximo nominal del agregado, la relación agua-cemento y revenimiento, facilitando así la dosificación óptima acorde a las características específicas de los materiales disponibles y a las exigencias particulares del proyecto.

De esta forma se reducen el número de mezclas de prueba y el consumo de materiales en etapa de laboratorio, garantizando que las proporciones finales cumplan simultáneamente con requisitos de desempeño mecánico y de comportamiento de servicio.

3.6.2 Resistencia requerida promedio ($f'cr$)

Para obtener una resistencia promedio requerida utilizamos la tabla 5 de la norma ACI 211.1, la resistencia deseada es de 210 kg/cm^2 , empleando la ecuación seleccionada obtenemos $f'cr$.

Tabla 4.
Resistencia requerida promedio.

Resistencia especificada a la compresión, kg/cm ²	Resistencia promedio requerida a la compresión, kg/cm ²
$f'c < 210$	$f'cr = f'c + 70$
$210 \leq f'c \leq 350$	$f'cr = f'c + 85$
$f'c > 350$	$f'c = 1.10 f'c + 50$

Nota: Tomado de “*criterio general del diseño de mezclas por el método ACP*”

3.6.2.1 Cálculo de la resistencia promedio requerida a la compresión.

Ecuación 4.

Resistencia requerida a la compresión.

$$f'cr = f'c + 85$$

$$f'cr = 210 + 85$$

$$f'cr = 295 \text{ kg/cm}^2$$

3.6.3 Revenimiento.

De la tabla 6 seleccionamos un asentamiento de 8 cm que se encuentra dentro del rango de 2.5 a 10 cm que corresponden al tipo de construcción de vigas y muros armados, coincidiendo con el asentamiento recomendado para columnas.

Tabla 5.

Revenimientos recomendados para diversos tipos de construcción.

TIPO DE CONSTRUCCION	REVENIMIENTO (cm)	
	MAXIMO	MINIMO
Muros de subestructura sencillos, zapatas, muros y cajones de cimentación.	7.5	2.5
Vigas y muros reforzados	10	2.5
Columnas para edificios	10	2.5
Pavimentos y losas	7.5	2.5
Hormigón masivo	7.5	2.5

Nota: Tomado de “*criterio general del diseño de mezclas por el método ACP*”

3.6.4 Tamaño máximo del agregado grueso.

Para determinar el tamaño máximo del agregado grueso se realizó el ensayo de granulometría según la norma ASTM C33, por lo tanto, se establece que el tamaño máximo para el diseño de esta mezcla será de 1 pulgada (25mm), que

corresponde al menor tamiz de la serie estándar por el cual pasa la totalidad de la muestra.

3.6.5 Cálculo de agua de mezclado.

De acuerdo con los datos obtenidos de revenimiento de 8 cm y tamaño máximo nominal del agregado grueso de 25 mm, mediante la tabla 7 se determinó la cantidad de agua de mezclado obteniendo una cantidad de agua de 193 kg por m³ de hormigón y un 2% de cantidad de aire atrapado. Sin embargo, el volumen del agua de mezclado se determinará con la siguiente ecuación:

Ecuación 5.

Volumen de agua de mezclado.

$$Volumen_{agua} = \frac{m_{agua}}{d_{agua}}$$

$$Volumen_{agua} = \frac{193 \text{ kg}}{1000 \text{ kg/m}^3}$$

$$Volumen_{agua} = 0,193 \text{ m}^3$$

Tabla 6.

Cantidad de agua de mezclado para distintos revenimientos

	TAMAÑO MAXIMO DEL AGREGADO GRUESO (mm)							
Revenimiento (cm)	9.5	12.5	19	25	38	50	75	150
2.5 - 5	207	199	190	179	166	154	130	113
7.5 - 10	228	216	205	193	181	169	145	124
15 - 17.5	243	228	216	205	193	178	160	-
% Aire atrapado	3.0	2.5	2.0	2.0	1.5	1.0	0.8	0.3

Nota: Tomado de “*criterio general del diseño de mezclas por el método ACI*”

3.6.6 Relación agua/ cemento (a/c).

En la tabla 8 se presentan los valores correspondientes entre la relación agua/ cemento para diferentes resistencias a la compresión. Para determinar la relación adecuada para nuestra resistencia de diseño 295 kg/cm², se realizó una interpolación utilizando datos próximos disponibles para resistencias de 300 kg/cm² y 250 kg/cm² como se muestra en la tabla 9. De este análisis se obtuvo una relación agua/ cemento de 0,55 para nuestro diseño.

Tabla 7.*Correspondencia entre la relación a/c y resistencia a compresión.*

Resistencia (kg/cm ²)	Sin aire incorporado	Con aire incorporado
450	0,38	-----
400	0,42	-----
350	0,47	0,39
300	0,54	0,45
250	0,62	0,53
200	0,70	0,61
150	0,80	0,71

Nota: tomado de “*criterio general del diseño de mezclas por el método ACI*”**Tabla 8.***Datos de interpolación obtenidos en la tabla 8.*

300	0,54
295	(a/c)
250	0,62

Ecuación 6. *Interpolación relación a/c.*

$$y = y_0 + \frac{y_1 - y_0}{x_1 - x_0} (x - x_0)$$

$$\frac{a}{c} = 0,54 + \frac{0,62 - 0,54}{250 - 300} (295 - 300)$$

$$a/c = 0,55$$

3.6.7 Cálculo del contenido de cemento GU.

Determinamos la cantidad de cemento mediante una operación matemática, despeje de fórmula de la relación a/c, sabiendo que la cantidad de agua determinada fue de 193 kg/m³. Obteniendo así una cantidad de cemento de 350,90 por cada m³ de hormigón.

Ecuación 7.*Contenido de cemento.*

$$c = \frac{a}{0,55}$$

$$c = \frac{193 \text{ kg/m}^3}{0,55}$$

$$c = 350,90 \text{ kg/m}^3$$

Ecuación 8.*Volumen del cemento.*

$$Volumen_{cemento} = \frac{m_{cemento}}{d_{cemento}}$$

$$Volumen_{cemento} = \frac{350,90 \text{ kg}}{3150 \text{ kg/m}^3}$$

$$Volumen_{cemento} = 0,112 \text{ m}^3$$

3.6.8 Determinación del volumen del agregado grueso.

El volumen del agregado grueso (V_{ag}) para 1 m^3 , se determinará a partir del tamaño máximo nominal del agregado y el módulo de finura de la arena, mediante los valores establecidos en el método ACI utilizando la tabla 10, para determinar el volumen adecuada de nuestro agregado grueso teniendo que la arena tiene un módulo de finura de 2.38, se realizó una interpolación utilizando datos próximos disponibles para módulos de finura de 2.40 y 2.60 como se muestra en la tabla 11. Obteniendo un volumen de agregado grueso de $0,71 \text{ m}^3$ valor que asegura un equilibrio adecuado entre los agregados finos y gruesos, minimizando la segregación y mejorando la resistencia del hormigón.

Tabla 9.*Volumen de agregado grueso para 1 m³ de hormigón.*

Tamaño máximo del agregado grueso (mm)	Módulo de finura de la arena			
	2.40	2.60	2.80	3.0
9.5	0.50	0.48	0.46	0.44
12.5	0.59	0.57	0.55	0.53
19	0.66	0.64	0.62	0.60
25	0.71	0.69	0.67	0.65
37.5	0.75	0.73	0.71	0.69
50	0.78	0.76	0.74	0.72
75	0.82	0.80	0.78	0.76
150	0.87	0.85	0.83	0.81

Nota: Tomado de “criterio general del diseño de mezclas por el método ACI”**Tabla 10.***Datos de interpolación obtenidos en la tabla 10.*

2.38	V_{ag}
2.40	0.71
2.60	0.69

$$y = y_0 + \frac{y_1 - y_0}{x_1 - x_0} (x - x_0)$$

$$V_{ag} = 0,71 + \frac{0,69 - 0,71}{2,60 - 2,38} (2,4 - 2,38)$$

$$V_{ag} = 0,71$$

3.6.9 Cálculo del peso del agregado grueso

El peso del agregado grueso es determinado mediante la multiplicación del volumen del agregado por el peso volumétrico varillado (p.v.v). Este paso asegura una dosificación precisa y reproducible, minimizando variaciones que podrían afectar la homogeneidad y las propiedades finales del hormigón.

Ecuación 9.

Peso del agregado grueso.

$$W = V_{a.grueso} \times P.V.V$$

$$W = 0,71 \text{ m}^3 \times 1472,75 \text{ kg/m}^3$$

$$W = 1045,65 \text{ kg}$$

3.6.10 Cálculo del Volumen Real del Agregado Grueso.

Ecuación 10.

Densidad del agregado grueso.

$$d_{ag} = \frac{W_{ag}}{v_{ag}}$$

Ecuación 11.

Volumen real del agregado grueso.

$$V_{rag} = \frac{W_{ag}}{d_{ag}}$$

$$V_{rag} = \frac{1045,65 \text{ kg}}{2439,02 \text{ kg/m}^3}$$

$$V_{rag} = 0,43 \text{ m}^3$$

3.6.11 Cálculo del Volumen del Agregado Fino.

Para determinar el volumen del agregado fino se realiza la suma de todos los volúmenes conocidos y luego restarlos para 1 m³ de la mezcla.

$$1 \text{ m}^3 = V_{\text{agua}} + V_{\text{cemento}} + V_{\text{ag.fino}} + V_{\text{ag.grueso}} + V_{\text{aire}}$$

Ecuación 12.

Volumen del agregado fino.

$$V_{\text{ag.fino}} = 1 \text{ m}^3 - (V_{\text{agua}} + V_{\text{cemento}} + V_{\text{ag.grueso}} + V_{\text{aire}})$$

$$V_{\text{ag.fino}} = 1 \text{ m}^3 - (0,193 + 0,112 + 0,43 + 0,02)$$

$$V_{\text{ag.fino}} = 0,245 \text{ m}^3$$

3.6.12 Cálculo del Peso del Agregado fino

El peso del agregado fino se determinará por medio de la multiplicación del volumen y la densidad como se mostrará a continuación:

Ecuación 13.

Peso del agregado fino

$$W_{\text{ag.fino}} = 0.245 \text{ m}^3 \times 2538.07 \text{ kg/m}^3$$

$$W_{\text{ag.fino}} = 621.82 \text{ kg}$$

3.6.13 Pesos de Materiales Para Mezcla de Hormigón

En la tabla 12 se mostrarán las cantidades de los materiales para la mezcla para 1 m³ de hormigón.

Tabla 11.

Cantidad de mezcla en kg para 1m³ de hormigón

Materiales	Dosificación		
	W (kg)	D (kg/m ³)	V (m ³)
Agua	193	1000	0.193
Cemento	350.90	3150	0.112
Agregado fino	621.82	2439.02	0.245
Agregado grueso	1045.65	2538.07	0.43

3.6.14 Corrección por Absorción y Humedad de los Agregados

La corrección por absorción y humedad de los agregados se calculará empleando las ecuaciones 14 y 15. Este formulario permite ajustar con precisión las cantidades de agua y agregados en la mezcla, compensando los aportes o demandas de humedad superficial mejorando así la exactitud en la dosificación del hormigón.

Ecuación 14.

Corrección por absorción y humedad del agregado grueso.

$$W_{ag}^* = W_{ag} \times \left(1 + \frac{\%w}{100}\right)$$

$$W_{ag}^* = 1045.65 * \left(1 + \frac{0,38}{100}\right)$$

$$W_{ag}^* = 1049.62 \text{ kg}$$

Ecuación 15.

Corrección por absorción y humedad del agregado fino.

$$W_{ag}^* = W_{ag} \times \left(1 + \frac{\%w}{100}\right)$$

$$W_{ag}^* = 621.82 * \left(1 + \frac{6,93}{100}\right)$$

$$W_{ag}^* = 664.91 \text{ kg}$$

3.6.15 Corrección por Humedad y Absorción del Agua.

La corrección por humedad del agregado fino y grueso se determinará por medio de la ecuación 16.

Ecuación 16. *Corrección por humedad y absorción del agua.*

Agregado grueso

$$\text{Balance de agua}_{ag}^* = W_{ag} \times \left(\frac{\% w - \% abs}{100} \right)$$

$$\text{Balance de agua}_{ag}^* = 1045.65 * \left(\frac{0.38 - 1.42}{100} \right)$$

$$\text{Balance de agua}_{ag}^* = -10.87 \text{ kg}$$

Agregado fino

$$\text{Balance de agua}_{ag}^* = W_{ag} \times \left(\frac{\% w - \% ab}{100} \right)$$

$$\text{Balance de agua}_{ag}^* = 621.82 * \left(\frac{6.93 - 2.11}{100} \right)$$

$$\text{Balance de agua}_{agregado}^* = 29.97 \text{ kg}$$

3.6.16 Cálculo de Agua Efectiva.

Para el cálculo de agua efectiva o cantidad de agua corregida se debe considerar el siguiente parámetro:

- La suma de estos dos valores es negativa se suma ese valor a la cantidad de agua de diseño, pues esto representa a una falta de agua en nuestro diseño.
- La suma de estos dos valores es positiva se resta ese valor a la cantidad de agua de diseño, pues esto representa a un exceso de agua en nuestro diseño

$$(-10.87 + 29.97) = 19.1 \text{ kg}$$

cantidad de agua corregida

$$= \text{cantidad de agua} - \text{balance de agua}$$

$$\text{cantidad de agua corregida} = 193 \text{ kg} - 19.1 \text{ kg}$$

$$\text{cantidad de agua corregida} = 173.9 \text{ kg por } m^3 \text{ de hormigon}$$

$$\text{cantidad de agua corregida} = 0.173 \text{ m}^3$$

3.6.17 Pesos de Materiales Corregidos Para Mezcla de Hormigón.

En la tabla 13 se mostrarán las cantidades corregidas de los materiales para la mezcla para 1 m³ de hormigón

Tabla 12. *Cantidades corregidas de mezcla en kg para 1m³ de hormigón.*

Materiales	Dosificación		
	W (kg)	D (kg/m ³)	V (m ³)
Agua	173.9	1000	0.173
Cemento	350.90	3150	0.112
Agregado fino	664.91	2439.02	0.272
Agregado grueso	1049.62	2538.07	0.413

3.6.18 Corrección de la Relación agua/cemento

Después de determinar la cantidad de agua corregida, se procede a corregir la relación agua/cemento mediante la ecuación 20.

Ecuación 17.

Relacion a/c corregida.

$$relacion\ a/c\ corregida = \frac{cantidad\ de\ agua\ corregida}{contenido\ de\ cemento}$$

$$relacion\ \frac{a}{c}\ corregida = \frac{173.9}{350.90} = 0,50$$

3.6.19 Proporciones en Peso de los Agregados

Tabla 13.

Proporción en peso de agregados para mezcla de hormigón

Materiales	Dosificación	
	kg	Al peso
Agua	173.9	0.50
Cemento	350.90	1
Agregado fino	664.91	1.89
Agregado grueso	1049.62	3

3.6.20 Cantidad de Fibra de Acero Para 1m³ de Hormigón.

Tabla 14.

Dosificación de fibra de acero para 1m³

DOSIFICACION DE FIBRA PARA 1m ³			
Densidad de la fibra de acero (kg/m ³)	Porcentaje de adición por volumen de hormigón	Volumen de fibra a agregar en m ³	Cantidad de fibra por metro cubico (kg/m ³)
7850	0.50%	0.005	39.25
	0.75%	0.010	58.88
	1%	0.015	78.50

Ecuación 18.

Cantidad de fibra de acero para 1m³ de hormigón.

$$\text{Cantidad de fibra} = \text{densidad} \times \text{porcentaje de adición} \times 1\text{m}^3 \text{ de hormigón}$$

3.6.21 Diseño de Mezcla patrón + Fibra de Acero con Gancho o Fibra de Acero Ondulada Para Cilindros y Vigas.

A partir de la dosificación inicial establecida, se incorporaron diferentes porcentajes de fibras de acero con gancho y ondulada, en proporciones de 0.5%, 0.75% y 1% en peso con respecto al volumen total del hormigón. Para ello, se elaboró una muestra patrón y tres tipos de mezcla por cada tipo de fibras de acero, resultando un total de 7 mezclas de hormigón cada una identificadas con su respectiva nomenclatura como se detalla a continuación:

- ✓ H210
- ✓ H210 + 0,5% fibra de acero con gancho
- ✓ H210 + 0,75% fibra de acero con gancho
- ✓ H210 + 1% fibra de acero con gancho
- ✓ H210 + 0,5% fibra de acero ondulada
- ✓ H210 + 0,75% fibra de acero ondulada
- ✓ H210 + 1% fibra de acero ondulada

Se elaboraron 56 probetas de hormigón 15 cm de diámetro por 30 cm de altura, distribuidas en grupos de 8 para tipo de mezcla con adición de fibra de acero. Todas las muestras fueron correctamente curadas y sometidas a ensayos de resistencia a la compresión a los 7, 14, 21, 28 días de acuerdo con lo establecido por la norma NTE INEN 1573. Este procedimiento riguroso permitió evaluar de manera sistemática el desarrollo de la resistencia del hormigón en función del tiempo y el impacto de las diferentes dosificaciones.

Por consiguiente, se elaboraron 21 vigas en total de dimensión 15 cm x 15 cm x 53 cm, distribuidas de 3 unidades para las diferentes mezclas establecidas las cuales fueron curadas a los 7 y 28 días posteriormente fueron realizadas el ensayo de resistencia a la flexión.

Para el ensayo de tracción indirecta se realizaron 14 probetas cilíndricas de dimensión 10 cm x 20 cm, las cuales fueron curadas a los 28 días y distribuidas de manera de que cada mezcla con adición tenga 2 probetas elaboradas para poder realizar un promedio.

3.7 METODOLOGIA OBJETIVO ESPECIFICO III: ANALISIS DE PORCENTAJE OPTIMO DE FIBRA DE ACERO

Para identificar el porcentaje óptimo de fibra de acero en el hormigón, primero se recopilaron y organizaron los resultados obtenidos de los ensayos de compresión, flexión y tracción indirecta realizados con diferentes dosificaciones y tipos de fibra. Tomando estos datos como base, se llevó a cabo un análisis comparativo que permitió observar en detalle como cada variante influía en el comportamiento mecánico del material.

Se aplicaron métodos de análisis descriptivo para evaluar la tendencia y la dispersión de los resultados, lo que facilito encontrar el rango más eficaz para la inclusión de fibras sin perjudicar la trabajabilidad de la mezcla. Este proceso permitió establecer, criterios técnicos y probados en laboratorio de suelo de la facultad de ingeniería, el porcentaje ideal de fibra de acero que garantiza el mejor equilibrio entre resistencia, ductilidad y facilidad de manejo en obra.

CAPITULO IV: ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

En el presente capítulo se interpretan y discuten los resultados obtenidos a partir de los ensayos experimentales realizados durante la fase de desarrollo de la investigación. Se analizan de manera sistemática las propiedades físicas y mecánicas de los materiales base, así como el comportamiento del hormigón reforzado con fibras de acero en las diferentes proporciones evaluadas.

De la misma forma, se comparan los resultados alcanzados con valores de referencia de la literatura y normas técnicas, identificando tendencias, mejoras cuantificables y posibles limitaciones. Este análisis busca fundamentar el porcentaje óptimo de fibra de acero que contribuye a mejorar el desempeño mecánico del material como ductilidad, tenacidad y resistencia sin afectar negativamente su trabajabilidad, durabilidad

4.1 RESULTADOS DEL OBJETIVO 1. CARACTERIZACIÓN DE LOS AGREGADOS

Mediante el proceso de caracterización de los materiales se evalúa la idoneidad de los agregados empleados para la elaboración del hormigón estructural. Con este fin, se determinaron sus propiedades físicas conforme a las especificaciones establecidas en las normativas vigentes. Se llevaron a cabo ensayos de granulometría, absorción y contenido de humedad tanto en los agregados finos como en los gruesos, considerando que dichas propiedades inciden directamente en el comportamiento y la calidad del hormigón durante su diseño y posterior aplicación.

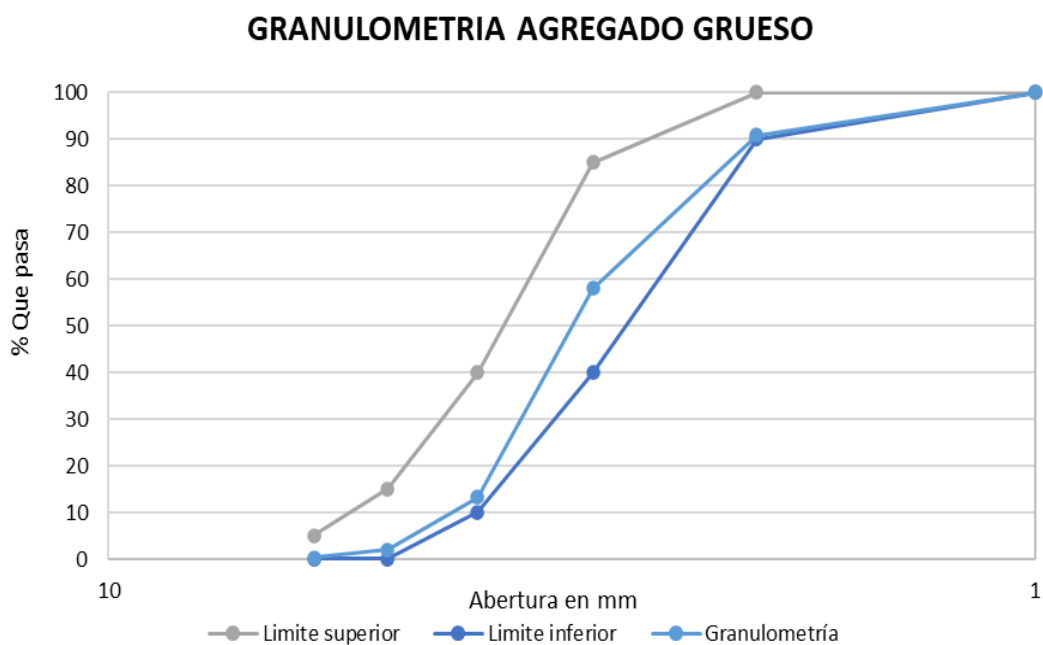
Estos resultados validaron la compatibilidad de los agregados con las mezclas reforzadas, permitiendo una dosificación precisa que optimiza la trabajabilidad y

asegura el cumplimiento de especificaciones técnicas para hormigón estructural.

Tabla 15.
Granulometría de Agregado Grueso.

Tamiz	Abertura (mm)	W Parcial	% Retenido	% Retenido Acumulado	% Que Pasa	Especificación ASTM	
						N° 56	
2"	50	0	0,00	0,00	100,00	100	100
1 1/2"	37.5	0	0,00	0,00	100,00	90	100
1"	25	1.374,0	9,18	9,18	90,82	40	85
3/4"	19	4.915,0	32,85	42,03	57,97	10	40
1/2"	12.5	6.695,0	44,75	86,78	13,22	0	15
3/8"	9.5	1.674,0	11,19	97,97	2,03	0	5
N.º 4	4.75	263,0	1,76	99,73	0,27		
N.º 8	2.36	10,0	0,07	99,80	0,20		
N.º 16	1.18	1,81	0,01	99,81	0,19		
FONDO		28,62	0,19	100,00	100,00		
TOTAL		14961,43	100,00		MF= 6.35	TMN= 1"	

Gráfico 3. *Curva granulométrica del agregado grueso*



Granulometría de Agregado Fino.

Tamiz	Abertura (mm)	W Parcial	% Retenido	% Retenido Acumulado	% Que Pasa	Especificación ASTM	
3/8"	9,5	0	0,00	0,00	100,00	100	100
N.º 4	4,75	39,16	2,71	2,71	97,29	95	100
N.º 8	2,36	85,41	9,18	8,61	91,39	80	100
N.º 16	1,18	124,54	8,61	17,22	82,78	50	85
N.º 30	0,6	362,72	25,07	42,29	57,71	25	60
N.º 50	0,3	481,89	33,31	75,60	24,40	10	30
N.º 100	0,15	224,62	15,53	91,13	8,87	2	10
FONDO		128,38	8,87	100,00	100,00	0	0
TOTAL		1446,72	100,00		MF= 2.38		

Gráfico 4.

Curva granulométrica del agregado fino

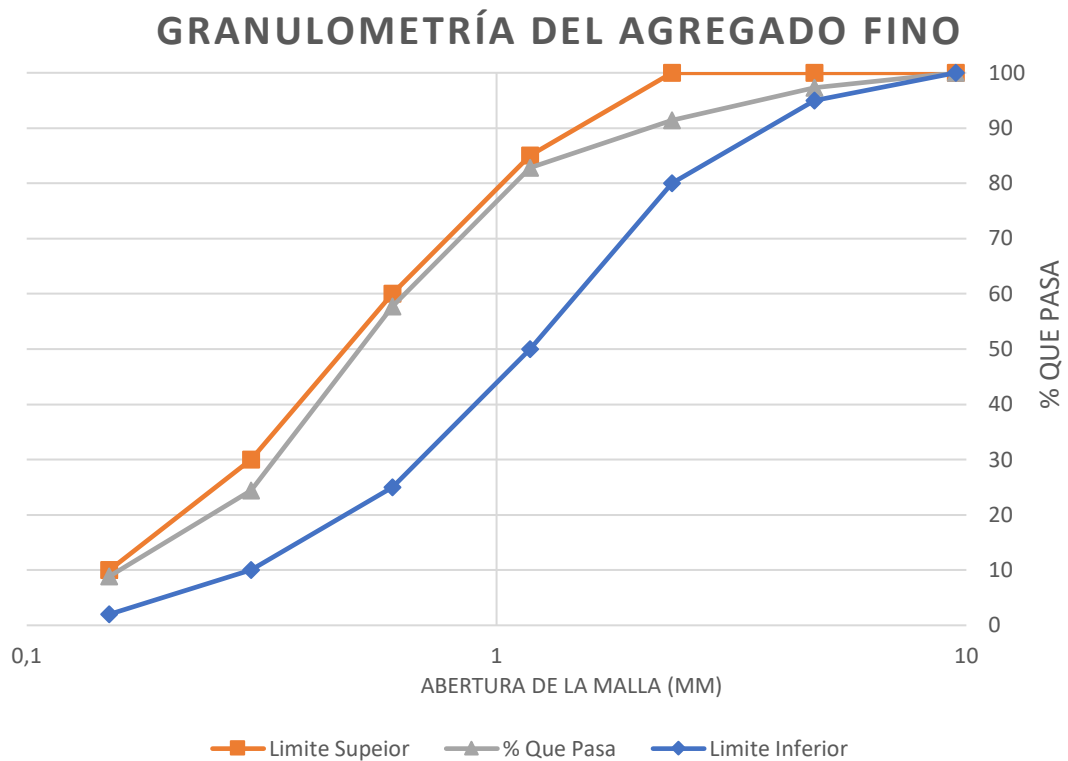


Tabla 16.*Peso Volumétrico Suelto de Agregado Grueso.*

PESO VOLUMÉTRICO SUELTO		
Volumen	0,0097369	m ³
P.v.s. + recipiente	23,29	Kg
Recipiente	10,92	Kg
Peso	12,37	Kg
P.V.S.	1270,43	Kg/ m ³

Tabla 17.*Peso Volumétrico Suelto de Agregado Fino.*

PESO VOLUMÉTRICO SUELTO		
Volumen	0,00281	m ³
P.v.s. + recipiente	7,7	Kg
Recipiente	4,42	Kg
Peso	3,28	Kg
P.V.S.	1167,26	Kg/ m ³

Tabla 18.*Peso Volumétrico Varillado de Agregado Grueso.*

PESO VOLUMÉTRICO VARILLADO		
Volumen	0,0097369	m ³
P.v.s. + recipiente	25,26	Kg
Recipiente	10,92	Kg
Peso	14,34	Kg
P.V.S.	1472,75	Kg/ m ³

Tabla 19.*Densidad Saturada Superficialmente Seca de Agregado Grueso (D.S.S.S).*

DENSIDAD SATURADA SUPERFICIALMENTE SECA		
P.S.S. S	2000	gr.
W (canastilla sumergida)	1027	gr.
W (canastilla sumergida + material)	2207	gr.
W (canastilla sumergida + material) – W(canastilla)	1180	gr.
Volumen	820,00	cm ³
	2,44	gr/ cm ³
D.S.S. S	2439,02	Kg/ m ³

Tabla 20.*Densidad Saturada Superficialmente Seca de Agregado Fino (D.S.S.S).*

DENSIDAD SATURADA SUPERFICIALMENTE SECA		
P.S.S. S	500	gr.
Lectura inicial	200	gr.
Lectura final	397	gr.
W desalojado	197	gr.
V desalojado	197	cm ³
D.S.S. S	2,54	gr/ cm ³
	2538,07	Kg/ m ³

Tabla 21.*Porcentaje de Absorción de agregado grueso.*

PORCENTAJE DE ABSORCIÓN		
Peso grava saturada	2000	gr.
Peso grava seca	1972	gr.
Agua desalojada	28	
Absorción	1,42	%

Tabla 22.*Porcentaje de Absorción de Agregado Fino.*

PORCENTAJE DE ABSORCIÓN		
Peso arena saturada	368,44	gr.
Peso arena seca	360,84	gr.
Agua desalojada	7,6	
Absorción	2,11	%

Tabla 23.*Porcentaje de Humedad de Agregado Fino.*

PORCENTAJE DE HUMEDAD		
Recipiente	2 DC4	
W recipiente	46,20	gr.
W arena + recipiente	500,52	gr.
W arena seca + recipiente	471,09	gr.
W de agua	29,43	gr.
W de arena seca	424,89	gr.
Humedad	6,93	%

Tabla 24.
Porcentaje de Humedad de Agregado Grueso

PORCENTAJE DE HUMEDAD		
Recipiente	E	
W recipiente	74,28	gr.
W grava + recipiente	1395,28	gr.
W grava seca + recipiente	1390,28	gr.
W de agua	5,0	gr.
W de grava seca	1316,0	gr.
Humedad	0,38	%

A continuación, se presenta un resumen de los datos obtenidos en la caracterización física de los agregados finos y gruesos, fundamentales para la dosificación y el desempeño del hormigón.

Tabla 25.
Resumen de datos obtenidos de ensayos previo al diseño de mezcla de hormigón.

RESUMEN DE DATOS		
Agregado fino (Arena)		
Módulo de finura	2.38	
Peso volumétrico	1167.26	Kg/ m ³
D.S.S. S	2538.07	Kg/ m ³
Absorción	2.11	%
Humedad	6.93	%
Agregado grueso (Grava)		
Peso volumétrico suelto	1270.43	Kg/ m ³
Peso volumétrico varillado	1472.75	Kg/ m ³
D.S.S. S	2439,02	Kg/ m ³
Tamaño máximo nominal	25	Mm
Absorción	1.42	%
Humedad	0.38	%

4.2 RESULTADOS DEL OBJETIVO 2. DISEÑO DE MEZCLA PATRÓN Y CON FIBRAS DE ACERO.

4.2.1 Diseño de la Mezcla Patrón.

Con base en los resultados obtenidos durante la caracterización de los agregados finos y gruesos, y siguiendo los procedimientos establecidos por la norma ACI 211.1, se definieron las proporciones óptimas de los materiales requeridos con el propósito de garantizar que la mezcla presente las condiciones necesarias de resistencia, trabajabilidad y durabilidad, permitiendo establecer una mezcla patrón que sirva como referencia para posteriores dosificaciones con la incorporación de fibras de acero.

Tabla 26.

Proporciones para 1m³ de hormigón.

Cantidad de materiales para <i>para</i> 1 m ³ de hormigón			
Materiales	W (kg)	D (kg/m ³)	V (m ³)
Agua	173.9	1000	0.173
Cemento	350.90	3150	0.112
Agregado fino	664.91	2439.02	0.272
Agregado grueso	1049.62	2538.07	0.413
Aire	0	0,02	0.020
Total	2239.33		1,0

Tomando como base la dosificación inicial de la mezcla H210, se incorporaron fibras de acero tipo gancho y tipo ondulada en proporciones volumétricas del 0.5%, 0.75% y 1%. Siendo el objetivo principal de esta modificación potenciar el comportamiento mecánico del hormigón, especialmente la resistencia a la tracción. Es relevante señalar que la cantidad de los demás agregados en la mezcla permaneció constante, permitiendo así valorar de forma directa el impacto de las diferentes geometrías y dosificaciones de fibra sobre las propiedades estructurales del material.

Tabla 27.*Proporciones de materiales para cilindros de hormigón.*

PROPORCIONES EN PESO (KG)				
	Mezcla patrón	0.5%	0.75%	1%
Aire				
Cemento	21,46	21,46	21,46	21,46
Grava	63,26	63,26	63,26	63,26
Arena	40,61	40,61	40,61	40,61
Agua	10,56	10,56	10,56	10,56
Fibra de acero	0	2,39	3,59	4,79
Total	135,89	138,28	139,48	140,68

Tabla 28.*Proporciones de materiales para cilindros pequeños de hormigón.*

PROPORCIONES EN PESO (KG)				
	Mezcla patrón	0.5%	0.75%	1%
Aire				
Cemento	1,27	1,27	1,27	1,27
Grava	3,75	3,75	3,75	3,75
Arena	2,41	2,41	2,41	2,41
Agua	0,63	0,63	0,63	0,63
Fibra	0	0,14	0,28	0,43
Total	8,05	8,19	8,34	8,48

Tabla 29.*Proporciones de materiales para vigas de hormigón.*

PROPORCIONES EN PESO (KG)				
	Mezcla patrón	0.5%	0.75%	1%
Aire				
Cemento	15,71	15,71	15,71	15,71
Grava	46,32	46,32	46,32	46,32
Arena	29,73	29,73	29,73	29,73
Agua	7,73	7,73	7,73	7,73
Fibra	0	1,75	2,63	3,50
Total	99,49	101,24	102,12	102,99

4.3 RESULTADOS DEL OBJETIVO 3. ANALISIS DE PORCENTAJE OPTIMO DE FIBRA DE ACERO.

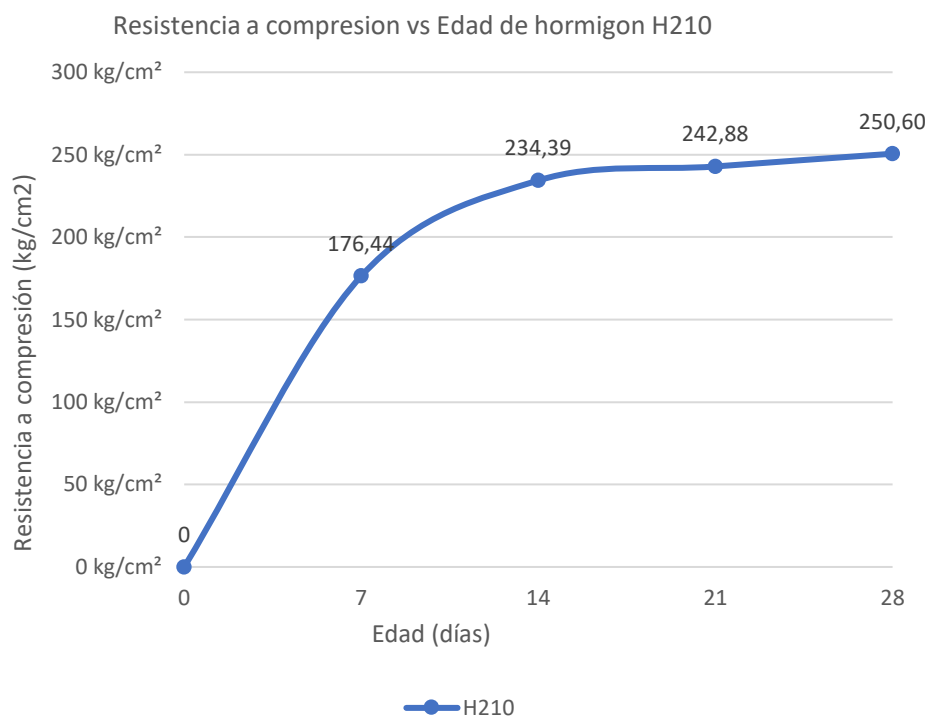
4.3.1 RESULTADOS DE RESISTENCIA A LA COMPRESION

4.3.1.1 Resultados de la resistencia a la compresión del hormigón H210

Tabla 30.
Resistencia a compresión de hormigón H210

N.º	Edad	Dimensiones (cm)		Carga (KN)	Resistencia Kg/cm ²	R. Promedio Kg/cm ²
	Días	Diámetro	Altura			
H210	7	15,15	29,80	311,30	176,09	176,44
H210	7	15,13	30,04	311,70	176,79	
H210	14	15,18	29,95	413,10	232,76	234,39
H210	14	15,16	30,24	417,80	236,03	
H210	21	15,23	29,95	432,10	241,87	242,88
H210	21	15,11	30,02	428,6	243,89	
H210	28	15,19	30,20	442,01	248,71	250,60
H210	28	15,20	29,72	449,30	252,49	

Gráfico 5.
Curva de resistencia a la compresión promedio de H210



Análisis: la gráfica representa la variación de la resistencia a compresión del hormigón H210 en función de la edad de curado, mostrando que el hormigón H210 un desarrollo acelerado de resistencia durante las primeras edades debido al proceso de fraguado y endurecimiento del material. A los 7 días, el hormigón alcanza 176.44 kg/cm², reflejando una hidratación intensa en la primera semana. Para los 14 días, la resistencia ya supera el diseño, llegando a 234.39 kg/cm². A partir de los 21 días, los incrementos en la resistencia se vuelven más graduales, alcanzando un valor de 242.88 kg/cm², y estabilizándose en 250.69 kg/cm² al cumplir 28 días de curado. Este comportamiento evidencia una adecuada evolución del concreto, respaldada por un control riguroso de los parámetros de mezcla y curado, que garantiza la calidad final del material. Comparando con la resistencia de diseño, se observa que la resistencia lograda a los 28 días supera este valor en un 19.4% proporcionando un margen adicional de seguridad y confiabilidad para el uso estructural del hormigón.

4.3.1.2 Resultados de la resistencia a la compresión del hormigón H210 con incorporación del 0.5% de FAG y FAO.

Tabla 31.

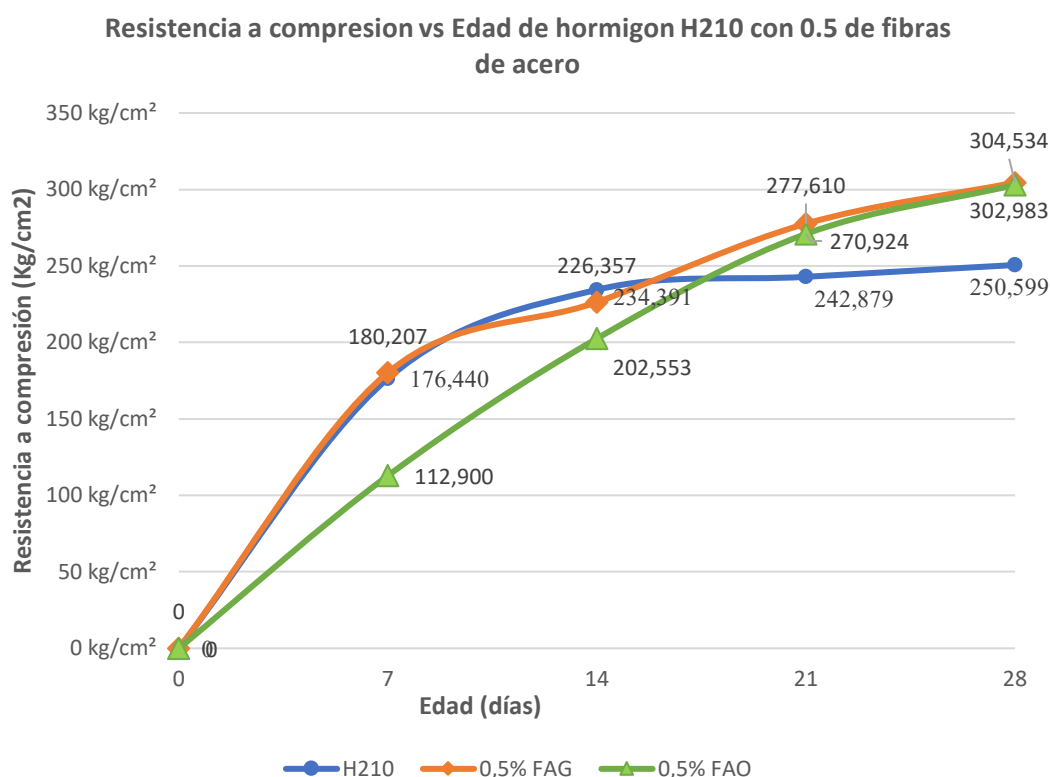
Resistencia a compresión de hormigón H210 + 0.5% de FAG y FAO

Identificación	Edad	Dimensiones (cm)		Carga (KN)	Resistencia Kg/cm ²	R. Promedio Kg/cm ²
		Días	Diámetro			
H210 + 0.5% FAG	7	15,22	29,93	364,70	204,54	180,20
H210 + 0.5% FAG	7	15,17	28,98	276,10	155,87	
H210 + 0.5% FAG	14	15,19	29,90	394,5	221,98	226,38
H210 + 0.5% FAG	14	15,10	30,01	405,2	230,73	
H210 + 0.5% FAG	21	15,31	29,89	529,80	293,46	277,61
H210 + 0.5% FAG	21	15,20	29,74	465,80	261,76	
H210 + 0.5% FAG	28	15,16	29,93	526,8	297,64	304,53
H210 + 0.5% FAG	28	15,26	29,97	558,20	311,43	
H210 + 0.5% FAO	7	15,12	30,06	323,50	183,72	112,90

H210 + 0.5% FAO	7	15,14	30,02	339,40	192,24	
H210 + 0.5% FAO	14	15,23	30,18	397,70	222,61	
H210 + 0.5% FAO	14	15,32	30,38	329,90	182,50	202,55
H210 + 0.5% FAO	21	15,21	30,38	454,70	259,09	
H210 + 0.5% FAO	21	15,32	30,28	503,50	282,76	270,94
H210 + 0.5% FAO	28	15,10	29,92	529,80	297,53	
H210 + 0.5% FAO	28	15,21	29,85	557,20	308,44	302,98

Gráfico 6.

Curva de resistencia a la compresión promedio de hormigón H210 + 0.5% de FAG y FAO.



Análisis: la gráfica expone la tendencia en la resistencia a compresión registrada para el hormigón H210 y sus variantes reforzadas con 0.5% de fibras de acero tipo gancho y ondulada. El comportamiento inicial es similar, pero a partir de los 14 días, las mezclas con fibras muestran un incremento superior y sostenido respecto a la mezcla H210. A los 28 días, la mezcla H210 alcanza 250.69 kg/cm²,

mientras que la mezcla con 0.5% de fibra de acero con gancho (FAG) llega a 302.98 kg/cm² y la mezcla con fibra de acero ondulada (FAO) a 304.53 kg/cm². Esto representa una mejora del 20.9% de fibra de acero con gancho (FAG) y del 21.5% de fibra de acero ondulada (FAO) respecto a la resistencia obtenida en la mezcla convencional (H210), siendo esta la que mayor porcentaje de incremento en resistencia. Se demuestra que el refuerzo con fibras excede considerablemente los valores de resistencia estándar.

4.3.1.3 Resultados de la resistencia a la compresión de hormigón H210 con incorporación del 0.75% de FAG y FAO

Tabla 32.

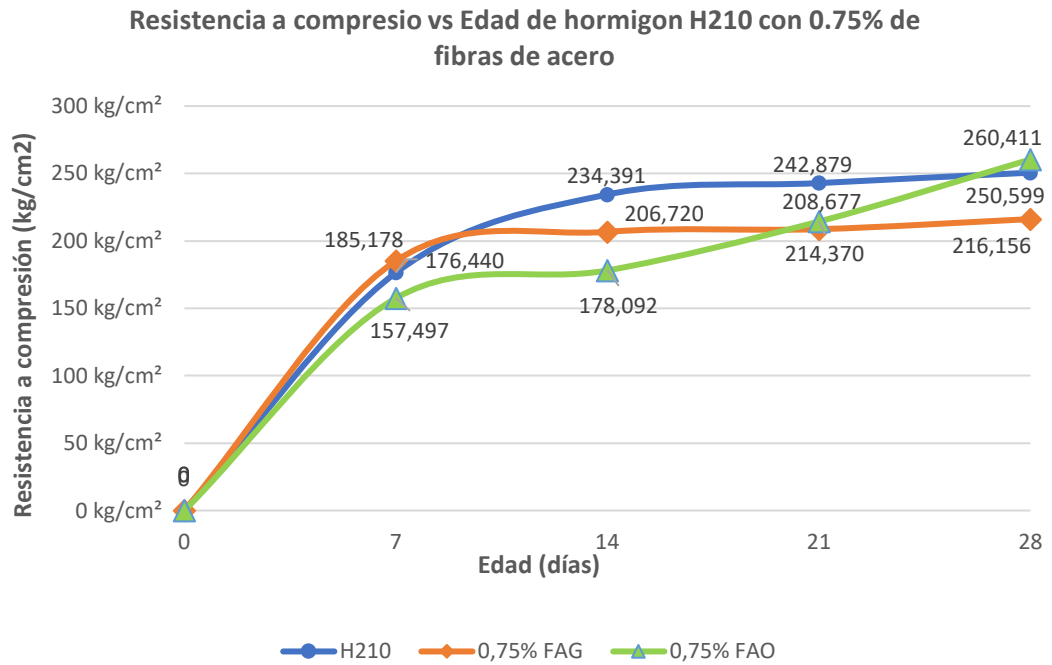
Resistencia a compresión de hormigón H210 +0.75% de FAG y FAO.

Identificación	Edad	Dimensiones (cm)		Carga (KN)	Resistencia Kg/cm ²	R. Promedio Kg/cm ²
		Días	Diámetro			
H210 + 0.75% FAG	7	14,97	29,92	273,20	158,28	185,18
H210 + 0.75% FAG	7	15,17	29,83	375,90	212,08	
H210+ 0.75% FAG	14	15,22	29,85	331,90	186,15	206,72
H210+ 0.75% FAG	14	15,23	30,08	405,80	227,29	
H210+ 0.75% FAG	21	15,20	30,13	409,50	230,12	208,68
H210+ 0.75% FAG	21	15,21	30,11	333,40	187,23	
H210+ 0.75% FAG	28	15,19	29,80	342,50	192,85	216,16
H210+ 0.75% FAG	28	15,09	29,94	419,70	239,46	
H210+ 0.75% FAO	7	15,25	29,92	299,0	167,03	157,50
H210+ 0.75% FAO	7	15,18	29,87	262,60	147,96	
H210+ 0.75% FAO	14	15,10	29,87	325,80	185,52	178,09
H210+ 0.75% FAO	14	15,25	30,08	305,70	170,67	
H210 + 0.75% FAO	21	15,22	30,02	439,80	246,66	214,37
H210+ 0.75% FAO	21	15,27	29,98	327,00	182,08	

H210+ 0.75% FAO	28	15,20	29,86	450,50	253,16	260,41
H210+ 0.75% FAG	28	15,27	29,96	480,70	267,66	

Gráfico 7.

Curva de resistencia a la compresión promedio de hormigón H210 +0.75% de FAG y FAO.



Análisis: En la gráfica se presenta la variación de la resistencia a compresión del hormigón con las mezclas reforzadas con 0.75% de fibra con gancho y ondulada. Durante las edades tempranas todas las mezclas muestran un incremento progresivo de resistencia, alcanzando valores comprendidos entre 157.50 Kg/cm² a 206.72 Kg/cm². En esta fase inicial el hormigón presenta una ligera ventaja sobre las mezclas con fibras, lo cual puede atribuirse a que la incorporación de fibras y aumento de cantidad de esta disminuye la trabajabilidad y compactación de la mezcla, afectando parcialmente el desarrollo inicial. A los 21 días, la tendencia de crecimiento continua y las diferencias entre las tres mezclas se reducen, finalmente a los 28 días la mezcla con fibra de acero ondulada (FAO) alcanzo una resistencia superior de 260.41 Kg/cm², aproximadamente el 4% respecto a la mezcla convencional. Mientras que la mezcla con fibra de acero con gancho (FAG) alcanzo una resistencia de 216.17 Kg/cm² mostrando una

disminución del 14% respecto a la muestra convencional (H210). Por tanto, se considera el empleo de fibras de acero ondulada más favorable en términos de resistencia a compresión.

4.3.1.4 Resultados de la resistencia a la compresión del hormigón H210 con incorporación del 1% de FAG y FAO

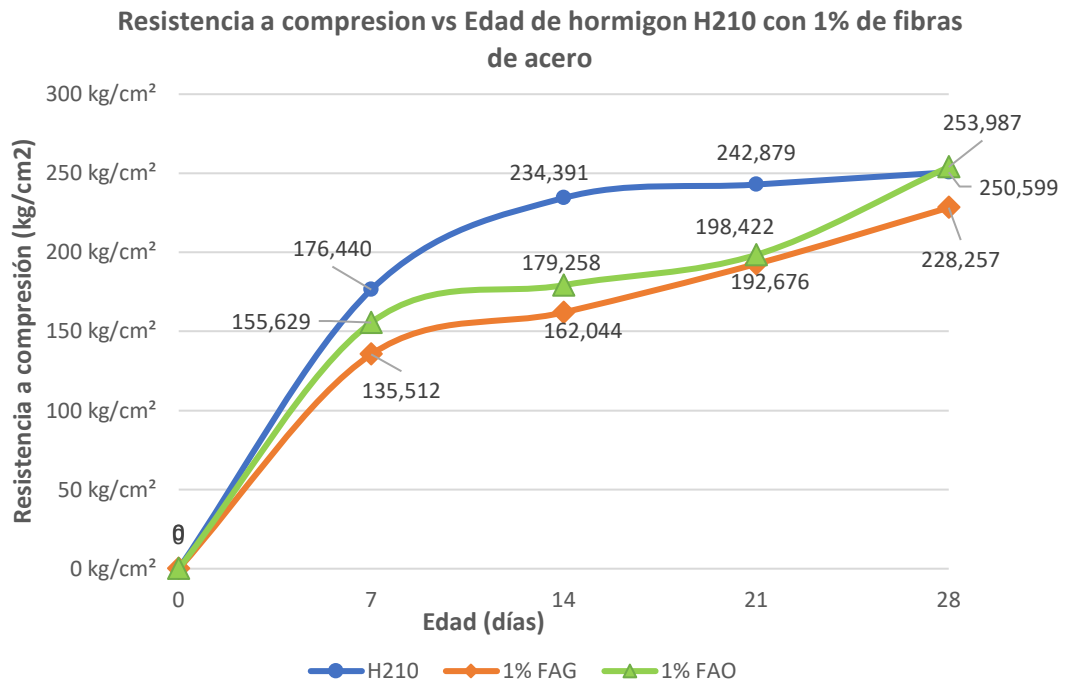
Tabla 33.

Resistencia a compresión de hormigón H210 +1% de FAG y FAO.

Identificación	Edad	Dimensiones (cm)		Carga	Resistencia	R. Promedio
	Días	Diámetro	Altura	(KN)	Kg/cm ²	Kg/cm ²
H210+ 1% FAG	7	15,08	30,33	231,50	132,17	135,51
H210+ 1% FAG	7	15,19	30,17	246,60	138,85	
H210+ 1% FAG	14	15,28	30,27	254,40	141,47	162,04
H210+ 1% FAG	14	15,28	30,23	328,40	182,62	
H210+ 1% FAG	21	15,08	30,13	282,80	161,57	192,68
H210+ 1% FAG	21	15,19	30,04	397,70	223,78	
H210+ 1% FAG	28	15,15	30,24	467,60	264,51	228,26
H210+ 1% FAG	28	15,21	29,85	341,90	192,01	
H210+ 1% FAO	7	15,11	30,10	320,90	182,61	155,62
H210+ 1% FAO	7	15,29	30,04	231,50	128,65	
H210+ 1% FAO	14	15,18	29,93	263,10	148,34	179,26
H210+ 1% FAO	14	15,16	29,95	371,80	210,18	
H210+ 1% FAO	21	14,13	29,86	182,20	118,48	198,42
H210+ 1% FAO	21	15,23	30,02	497,30	278,36	
H210+ 1% FAO	28	15,19	29,90	473,10	266,21	253,99
H210+ 1% FAO	28	15,24	30,09	432,20	241,76	

Gráfico 8.

Curva de resistencia a la compresión de hormigón H210+1% de FAG y FAO.



Análisis: la gráfica 8 muestra que, durante las primeras edades de curado 7 y 14 días, se observa un crecimiento progresivo de la resistencia en las tres mezclas. El hormigón H210 alcanza una resistencia de 176,44 Kg/cm² a los 7 días, mientras que las mezclas con fibra de acero con gancho (FAG) logran 155.63 Kg/cm² y 135.51 Kg/cm². A los 14 días, las resistencias continúan incrementándose y mantienen la tendencia, donde el hormigón H210 desarrolla mayor resistencia a edades tempranas, mientras que las mezclas con fibras aun no alcanzan la misma eficiencia en la ganancia de resistencia. Sin embargo, el análisis indica que, a los 28 días, el hormigón con 1% de fibra de acero ondulada (FAO) alcanzo una resistencia de 253.99 Kg/cm², siendo superior en aproximadamente 1.4% respecto al hormigón convencional H210. Por el contrario, la mezcla con fibra de acero con gancho (FAG) presento una resistencia de 228,58 Kg/cm², siendo un 8.9% menor respecto a la mezcla H210. Concluyendo de esta manera que la fibra de acero ondulada se comporta mejor en términos de resistencia a compresión, mostrando que su geometría favorece a la adherencia y el confinamiento interno del hormigón a mayores edades de curado

4.3.1.5 Copilado comparativo de resistencias a compresión

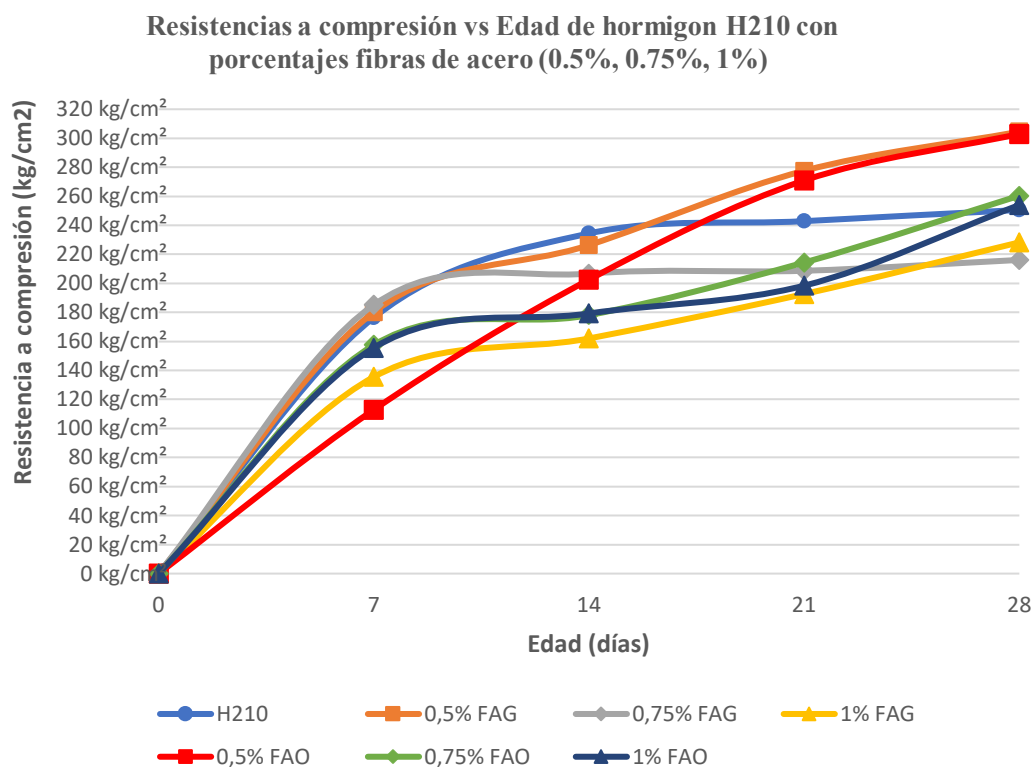
Tabla 34.

Copilado comparativo de resistencias a compresión.

RESISTENCIA A LA COMPRESION PROMEDIO DE MEZCLAS DE HORMIGON							
Edad (días)	Patrón	0.5%	0.75%	1%	0.5%	0.75%	1%
		FAG	FAG	FAG	FAO	FAO	FAO
7	176,44	180,21	185,18	135,51	112,90	157,50	155,63
14	234,39	226,36	206,72	162,04	202,55	178,09	179,26
21	242,88	277,61	208,68	192,68	270,92	214,37	198,42
28	250,60	304,53	216,16	228,26	302,98	260,41	253,99

Gráfico 9.

Curva de resistencia a la compresión promedio de hormigón + H210 con incorporación de fibras de acero (0.5%, 0.75% y 1%).



Análisis: la gráfica evidencia que el efecto de la fibra de acero en el hormigón depende tanto del tipo de fibra como de su porcentaje de incorporación. La dosificación óptima, en términos de resistencia a compresión, se obtiene con 0.5% de fibra de acero de gancho. El aumento excesivo de fibra no implica necesariamente una mejora; por el contrario, puede retrasar el desarrollo inicial y limitar el incremento final de resistencia.

4.3.2 RESULTADO DE RESISTENCIA A LA FLEXION

4.3.2.1 Resultado de resistencia a la flexión de hormigón H210 .

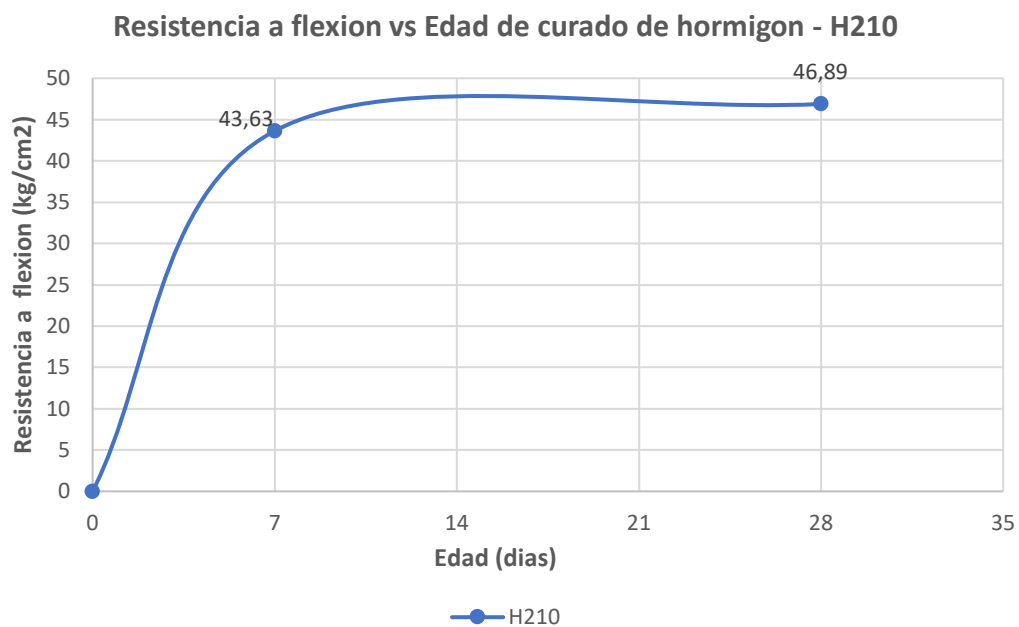
Tabla 35.

Resistencia a flexión de hormigón H210.

Identificación	Edad		Dimensiones (cm)			Carga	MR	MR	MR.
	Días	Ancho	Altura	Longitud L/3	(KN)	Mpa	kg/cm ²	Promedio	
H210	7	15,1	15,2	45,3	21,68	4,28	43,63	46,89	
H210	28	15,4	15,2	45,5	23,06	4,48	45,71		
H210	28	15,1	15,3	45,5	23,94	4,71	48,08		

Gráfico 10.

Curva de resistencia a flexión de hormigón H210



Análisis: la gráfica ilustra la tendencia de incremento de la resistencia a flexión conforme avanza el proceso de curado, la resistencia a flexión registrada es de 43.63 kg/cm², mostrando una tendencia ascendente hasta alcanzar los 46.89 kg/cm² a los 28 días. Este comportamiento es consistente con la evolución esperada para este tipo de ensayo, donde el hormigón continuo su proceso de hidratación y endurecimiento, reflejando en una ganancia progresiva de resistencia. La diferencia entre los valores obtenidos en ambos lapsos indica un aumento del 7.5% aproximadamente en la resistencia a flexión, lo cual evidencia que la mezcla H210 desarrolla su capacidad portante de manera estable a lo largo del periodo de curado.

4.3.2.2 Resultado de resistencia a la flexión de hormigón H210 + 0.5% de FAG y FAO

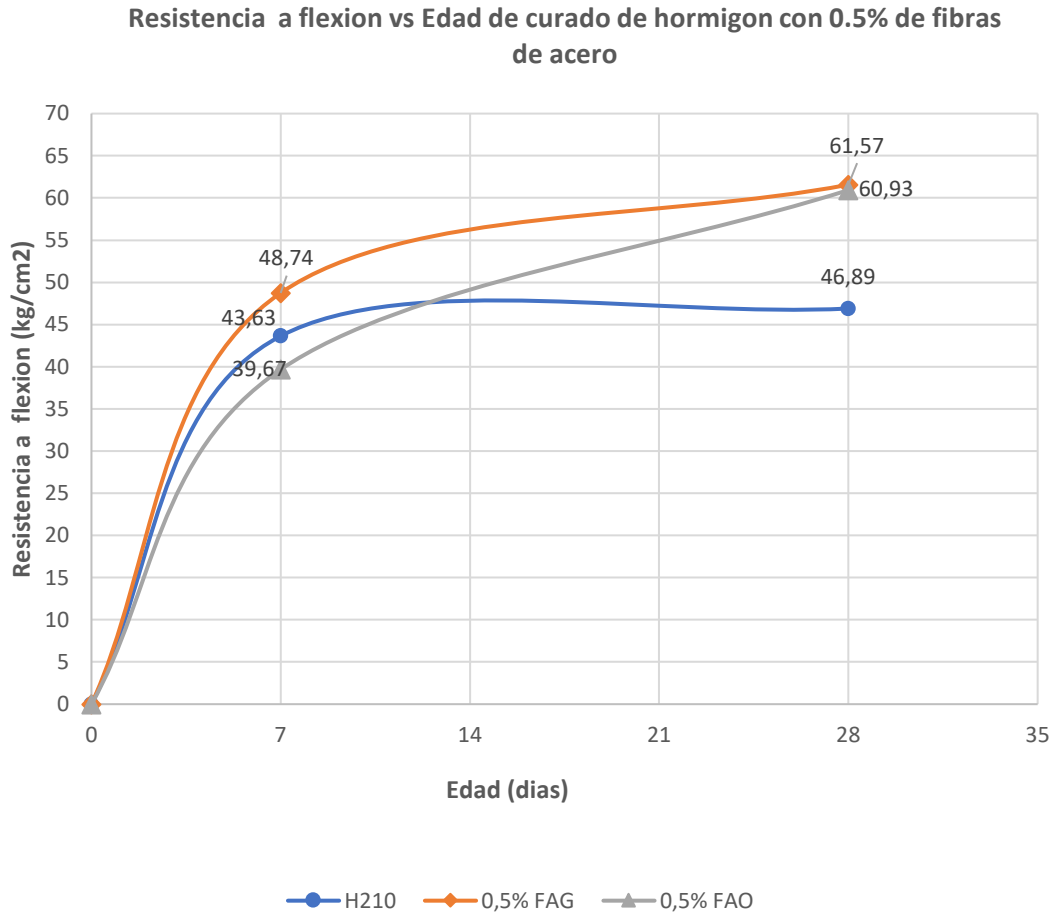
Tabla 36.

Resistencia a flexión de hormigón H210+0.5% de FAG y FAO.

Identificación	Edad	Dimensiones (cm)			Carga	MR	MR	MR prom.
	Días	Ancho	Altura	Longitud L/3	(KN)	Mpa	kg/cm ²	kg/cm ²
H210+ 0.5% FAG	7	15,3	15,2	45,8	24,27	4,78	48,74	48,74
H210+ 0.5% FAG	28	15,3	15,3	45,4	30,77	5,97	60,85	61,57
H210+ 0.5% FAG	28	15,3	15,3	45,8	31,02	6,11	62,29	
H210+ 0.5% FAO	7	15,3	15,5	45,4	20,32	3,89	39,67	39,67
H210+ 0.5% FAO	28	15,5	15,4	45,4	33,1	6,30	64,20	60,93
H210+ 0.5% FAO	28	15,5	15,4	45,5	29,67	5,66	57,67	

Gráfico 11.

Curva de resistencia a flexión de hormigón H210+0.5% de FAG y FAO.



Análisis: la gráfica nos muestra que a los 7 días la muestra H210 tiene una resistencia inicial de 43,63 kg/cm², mientras que la mezcla con fibra de acero (FAG) y fibra de acero ondulada (FAO) presentan 48,74 kg/cm² y 39,67 kg/cm² respectivamente. La fibra de acero con gancho alcanza 61,57 kg/cm², y la fibra de acero ondulada (FAO) 60,93 kg/cm² a los 28 días, mientras que la muestra H210 logra solo 46,89 kg/cm². La mezcla con 0.5% de fibra de acero con gancho (FAG) presenta una mejora del 31.3% respecto a la muestra H210, mientras que la mezcla con 0.5% de fibra de acero ondulada (FAO) muestra una mejora del 30%. respecto a la muestra convencional, destacando su contribución a la tenacidad post-falla. Esta tendencia sugiere que las fibras optimizan la transferencia de cargas y reducen micro fisuras, siendo el 0.5% de FAG el porcentaje óptimo para maximizar la

resistencia a flexión sin comprometer la trabajabilidad. Por lo tanto, concluimos que, el porcentaje de 0.5% de fibra de acero con gancho (FAG) es la que ofrece el mayor incremento relativo en resistencia a flexión frente al hormigón convencional.

4.3.2.3 Resultado de resistencia a flexión de hormigón H210 + 0.75% de FAG y FAO

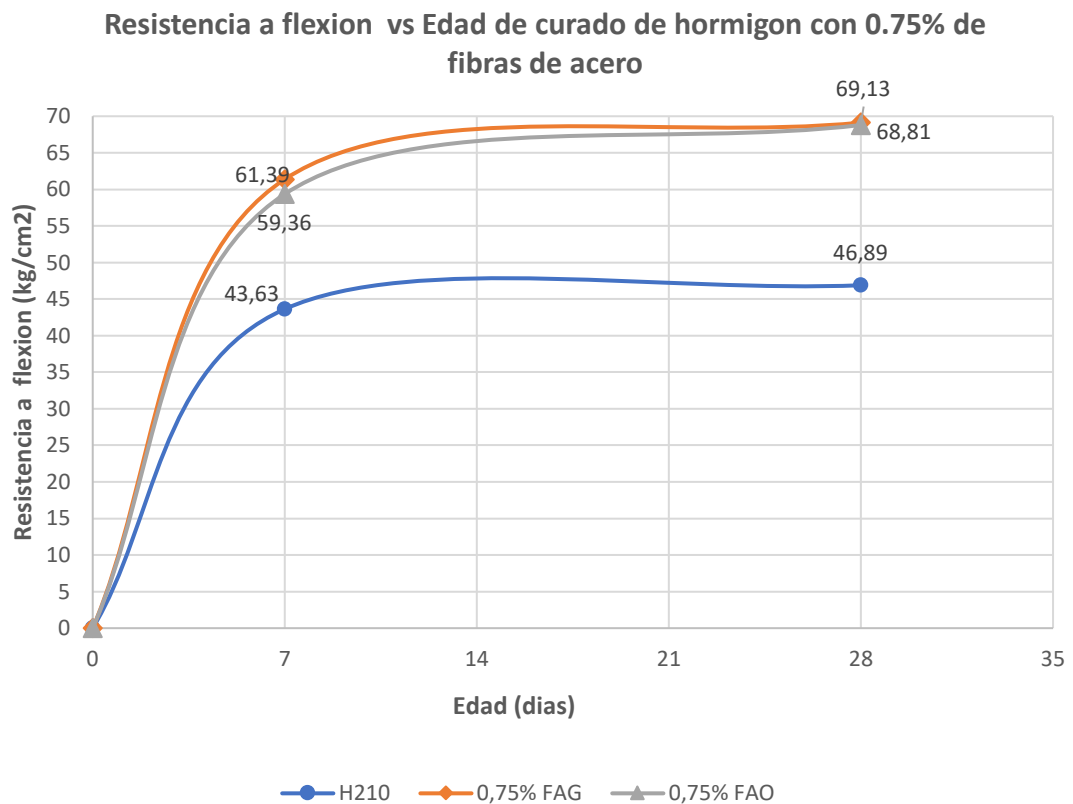
Tabla 37.

Resistencia a flexión de hormigón H210 +0.75% de FAG y FAO.

Identificación	Edad		Dimensiones (cm)			Carga	MR	MR	MR. Prom.
	Días	Ancho	Altura	Longitud L/3	(KN)	Mpa	kg/cm ²	kg/cm ²	
H210+ 0.75% FAG	7	15,2	15,3	45,5	30,77	6,02	61,39	61,39	
H210+ 0.75% FAG	28	15,2	15,3	45,5	33,58	6,57	66,99	69,13	
H210+ 0.75% FAG	28	15,3	15,3	45,4	36,04	6,99	71,27	69,13	
H210+ 0.75% FAO	7	15,2	15,3	45,6	29,69	5,82	59,36	59,36	
H210+ 0.75% FAO	28	15,2	15,4	45,5	36,63	7,12	72,60	68,81	
H210+ 0.75% FAO	28	15,4	15,4	45,5	33,23	6,38	65,01	68,81	

Gráfico 12.

Curvas de resistencia a flexión de hormigón H210+0.75 de FAG y FAO.



Análisis: cómo se puede observar en la gráfica 9, desde el inicio las mezclas reforzadas con fibras superan notablemente a la mezcla inicial H210: a los 7 días, la fibra de acero con gancho (FAG) presenta una resistencia de 61.39 kg/cm² y la fibra de acero ondulada (FAO) 59.36 kg/cm², valores sensiblemente mayores en comparación del hormigón convencional, que alcanza solo 43,63 kg/cm². Esta diferencia se mantiene y se intensifica al alcanzar los 28 días de curado, donde el hormigón reforzado con fibra con gancho (FAG) logra una resistencia de 69.13 kg/cm² y el reforzado con fibra ondulada (FAO) alcanza 68.81 kg/cm², Mientras que la mezcla convencional H210 registra 46.89 kg/cm². La adición de 0.75% de fibra de acero con gancho (FAG) mejora un 47.4% la resistencia respecto a la muestra H210, en tanto que 0.75% de fibra de acero ondulada (FAO) la mejora en 46.7%. Pero la fibra de acero con gancho (FAG) es la que más aumenta en términos relativos, la resistencia a flexión respecto al hormigón normal.

4.3.2.4 Resultado de resistencia a flexión de hormigón H210 + 1% de FAG y FAO.

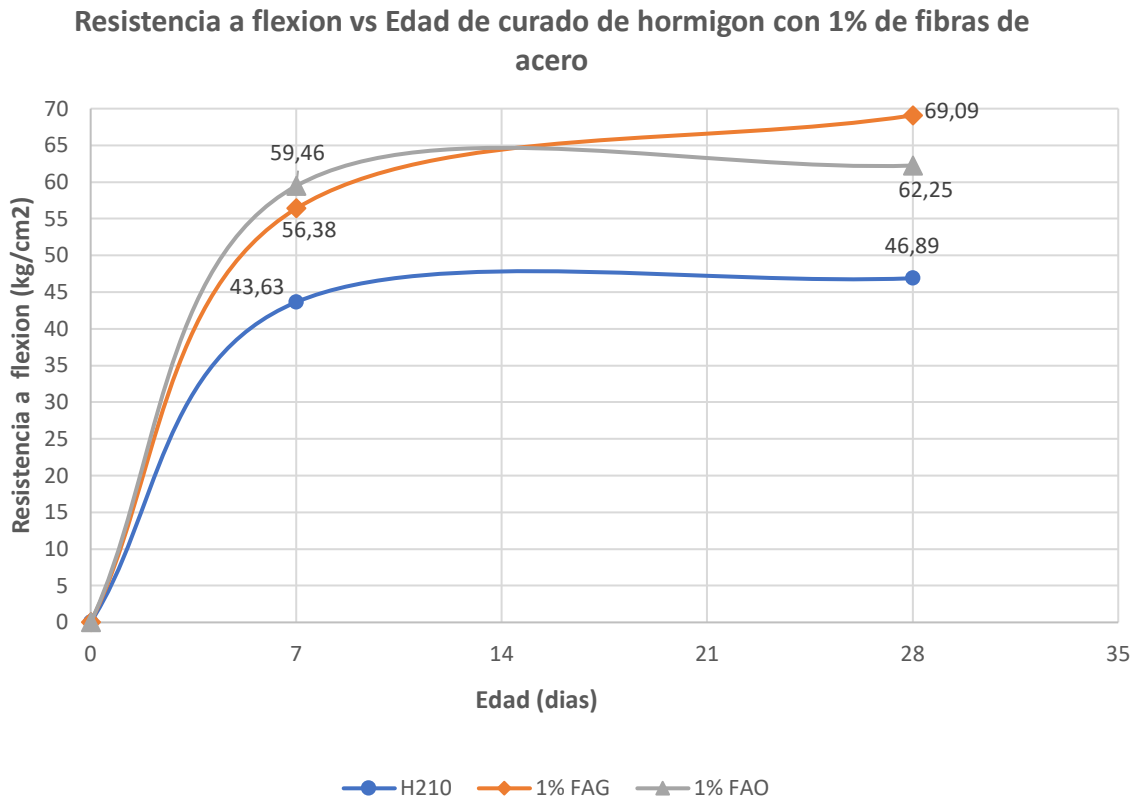
Tabla 38.

Resistencia a flexión de hormigón H210+1% de FAG y FAO.

Identificación	Edad	Dimensiones (cm)			Carga	MR	MR	MR Prom.
	Días	Ancho	Altura	Longitud L/3	(KN)	Mpa	kg/cm ²	kg/cm ²
H210+ 1% FAG	7	15,5	15,4	45,7	28,88	5,53	56,38	56,38
H210+ 1% FAG	28	15,5	15,2	45,7	35,55	6,90	70,32	69,09
H210+ 1% FAG	28	15,3	15,5	45,6	34,61	6,65	67,86	
H210+ 1% FAO	7	15,4	15,2	45,7	29,87	5,83	59,46	59,46
H210+ 1% FAO	28	15,4	15,3	45,8	29,36	5,71	58,19	62,25
H210+ 1% FAO	28	15,3	15,3	45,8	33,23	6,50	66,30	

Gráfico 13.

Curvas de resistencia a flexión de hormigón H210+1% de FAG y FAO



Análisis: cómo podemos observar a los 7 días, el hormigón reforzado con 1% de fibra de acero con gancho (FAG) alcanza una resistencia de 56.38 kg/cm² y la fibra de acero ondulada (FAO) 59.46 kg/cm², valores mayores que el hormigón H210 que registra solo 43.63 kg/cm². Este patrón se mantiene a los 28 días, donde las fibras continúan generando ventajas claras: la mezcla con 1% de fibra de acero con gancho (FAG) tiene la resistencia más alta que es 69.09 kg/cm², seguida por la fibra de acero ondulada (FAO) con 62.26 kg/cm², en contraste con los 46.89 kg/cm² de la mezcla convencional. Un aspecto relevante de este análisis es que la mezcla con 1% de fibra de acero con gancho (FAG) mejora la resistencia a flexión en un 47.4% respecto a la muestra H210, mientras que la mezcla con 1% de fibra de acero ondulada (FAO) la mejora en un 32.6%, por lo tanto, el 1% de fibra de acero (FAG) tiene el mayor porcentaje de mejora comparado con el hormigón convencional. Esta superioridad de la FAG se atribuye a su mejor anclaje mecánico en la matriz cementante, lo que optimiza la redistribución de esfuerzos y aumenta la tenacidad post-fisuración.

4.3.2.5 Copilado comparativo de resistencias a flexión

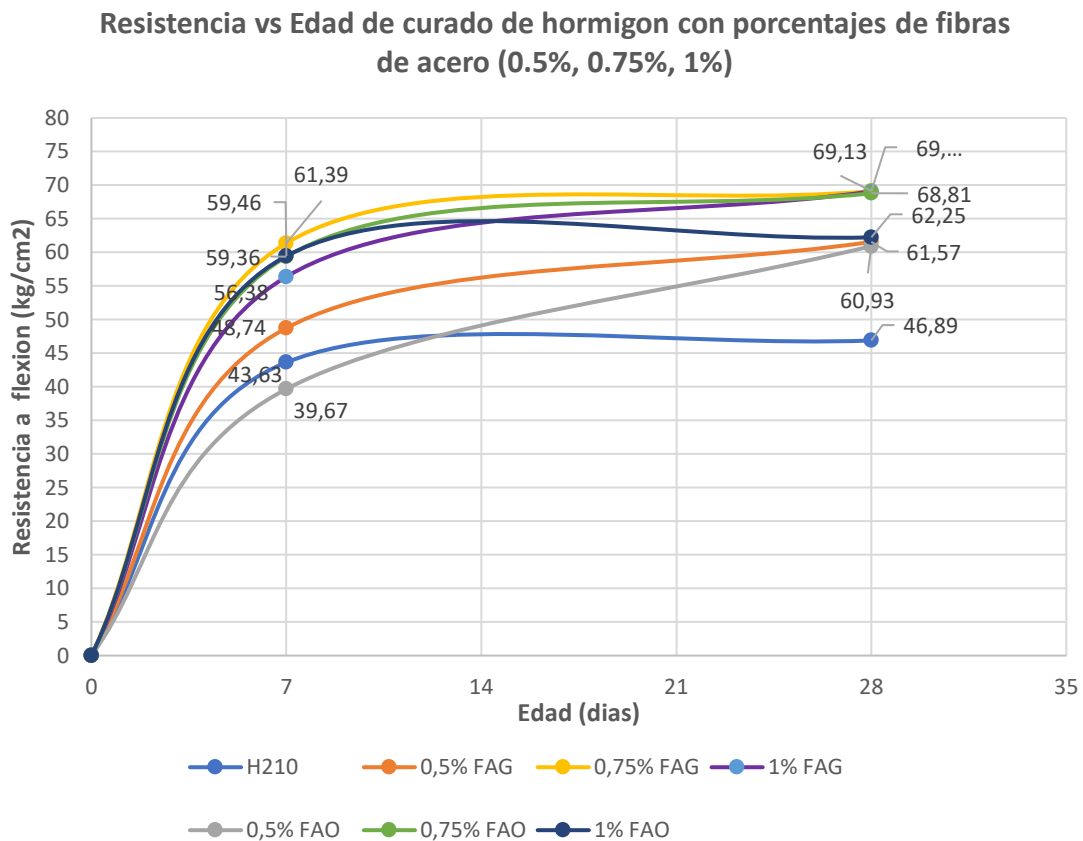
Tabla 39.

Copilado comparativo de resistencias a flexión.

RESISTENCIA A FLEXION PROMEDIO DE MEZCLAS DE HORMIGON (kg/cm ²)							
Edad (días)	Patrón	0.5% FAG	0.75% FAG	1% FAG	0.5% FAO	0.75% FAO	1% FAO
7	43,63	48,74	61,39	56,38	39,67	59,36	59,46
28	46,89	61,57	69,13	69,09	60,93	68,81	62,25

Gráfico 14.

Curvas de resistencia a flexión de hormigón H210 con incorporación de fibras de acero (0.5%, 0.75%, 1%).



Análisis: de acuerdo con los resultados obtenidos del módulo de rotura de las mezclas, observamos que, a los 7 días, tanto del hormigón reforzado como el hormigón H210, presentan valores aceptables, pero destacan especialmente las dosificaciones con fibra de 1% y 0.75% de FAG y FAO, que evidencian resistencias iniciales superiores a 56 kg/cm², superando claramente a la mezcla convencional. La evolución hasta los 28 días revela que el esfuerzo por fibra de acero impulsa el desarrollo de la resistencia a flexión de forma más acelerada y sostenida que el hormigón tradicional. La mayor resistencia con mejora lo presentan las mezclas con 0.75% y 1% de fibra de acero con gancho, ambas con un 47.4% respecto al hormigón convencional. Este comportamiento se explica por el superior anclaje mecánico de las fibras con gancho, que retrasa la propagación de grietas y mejora la tenacidad post-falla del material. Estos resultados posicionan a las dosificaciones con FAG como la opción óptima para aplicaciones estructurales que requieren mayor ductilidad y capacidad de carga residual.

4.3.3 RESULTADO DE RESISTENCIA A TRACCION INDIRECTA

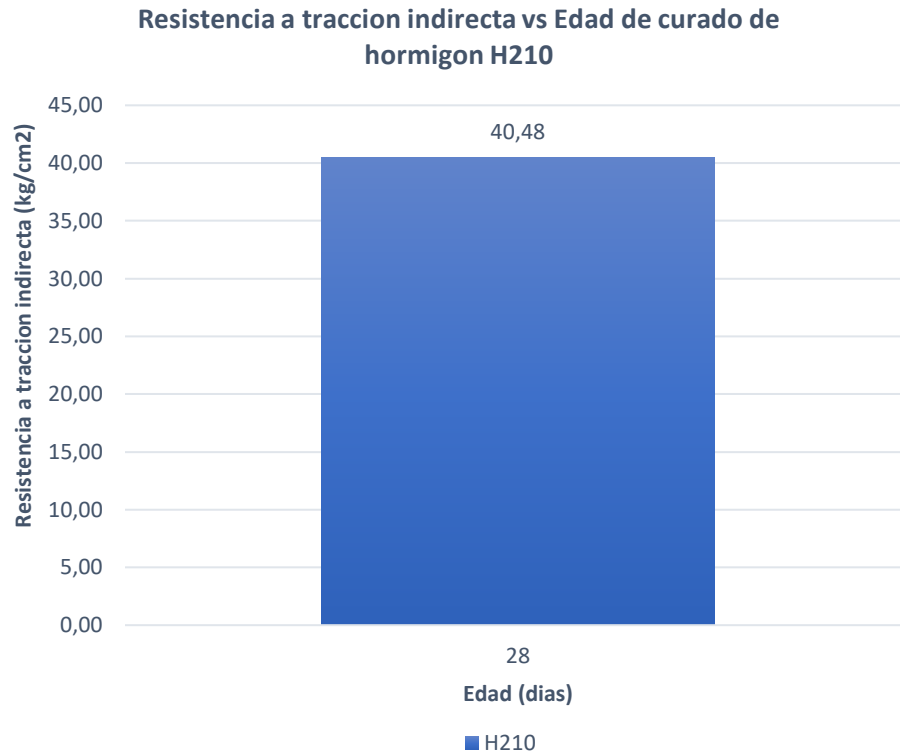
4.3.3.1 Resultado de resistencia a tracción Indirecta del hormigón H210

Tabla 40.
Resistencia a Tracción Indirecta de hormigón H210.

Identificación	Edad	Dimensiones (cm)		Carga	Carga	Resistencia	R.
	Días	Diámetro	Altura	kn	(Kg)	Kg/cm ²	Promedio Kg/cm ²
H210	28	10,26	20,27	126,1	12858,5	39,38	40,48
H210	28	10,20	20,45	133,6	13623,3	41,58	

Gráfico 15.

Diagrama de barras de resistencia a tracción indirecta de hormigón H210.



Análisis: La grafica muestra el resultado a tracción indirecta del hormigón H210 a los 28 días alcanzando un registro de 40.48 kg/cm². La norma ACI estima que para un hormigón de $f'c = 210$ kg/cm² su resistencia a tracción indirecta es de 21.41 kg/cm² a los 28 días. Por tanto, se concluye que la resistencia alcanzada por el hormigón inicial H210 representa un incremento del 89% respecto al valor teórico esperado para un hormigón convencional, lo que evidencia la calidad superior de los agregados seleccionados, la precisión en la dosificación según ACI 211.1 y la efectividad del curado húmedo prolongado. Este desempeño excepcional no solo valida la mezcla patrón H210 como referencia confiable y robusta, sino que también establece un referente sólido para evaluar las mejoras incrementales y comparativas aportadas por las adiciones de fibras de acero en las dosificaciones reforzadas subsiguientes, destacando el potencial de optimización en aplicaciones estructurales reales.

4.3.3.2 Resultado de resistencia a tracción Indirecta del hormigón H210 + 0.5 % de FAG y FAO

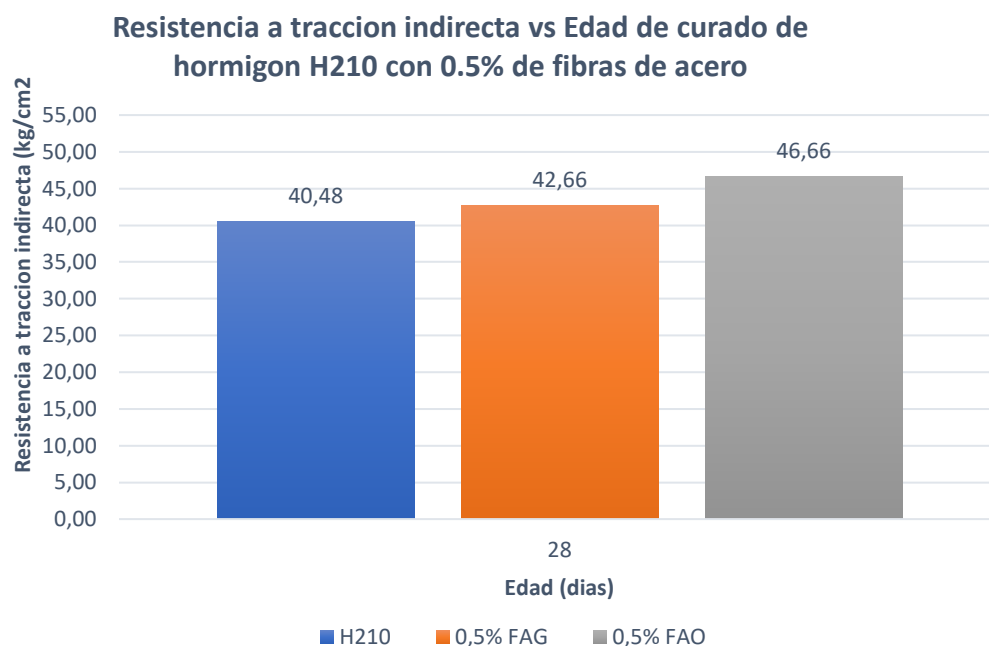
Tabla 41.

Resistencias a Tracción Indirecta de hormigón H210 + 0.5% de FAG y FAO.

Identificación	Edad	Dimensiones (cm)		Carga		Resistencia	R. Promedio
		Días	Diámetro	Altura	Kn		
H210 + 0.5% FAG	28	10,29	20,27	124,9	12736,2	38,32	42,66
H210 + 0.5% FAG	28	10,27	20,56	151,3	15428,2	47,0	
H210 + 0.5% FAO	28	10,24	20,58	168,5	17182,1	51,91	46,66
H210 + 0.5% FAO	28	10,24	20,88	136,4	13908,8	41,41	

Gráfico 16.

Diagrama de barras de resistencia a tracción indirecta de hormigón H210+0.5% de FAG y FAO.



Análisis: se observa que la mezcla H210 presenta el valor más bajo de resistencia a tracción indirecta, mientras que la adición de 0.5% de fibra de acero con gancho con 42.66 kg/cm² incrementa significativamente en un 5.3%, la mezcla con fibra de acero ondulada mejora su resistencia un poco más con 46.66 kg/cm² lo que representa el 15.4% en mejora respecto al hormigón convencional, pero es la mezcla con fibra de acero ondula la que alcanza el mayor valor de resistencia, destacándose como la variante más efectiva para mejorar la capacidad del hormigón frente a esfuerzos de tracción

Esta superioridad de la FAO se debe a su geometría deformable que genera mayor interacción interfacial con la matriz cementante, retrasando la propagación de microfisuras y elevando la tenacidad post-falla. Por tanto, la fibra ondulada en 0.5% emerge como la dosificación óptima para aplicaciones donde la tracción indirecta es crítica, como losas y elementos sometidos a cargas dinámicas.

4.3.3.3 Resultado de resistencia a tracción Indirecta del hormigón H210 + 0.75 % de FAG y FAO

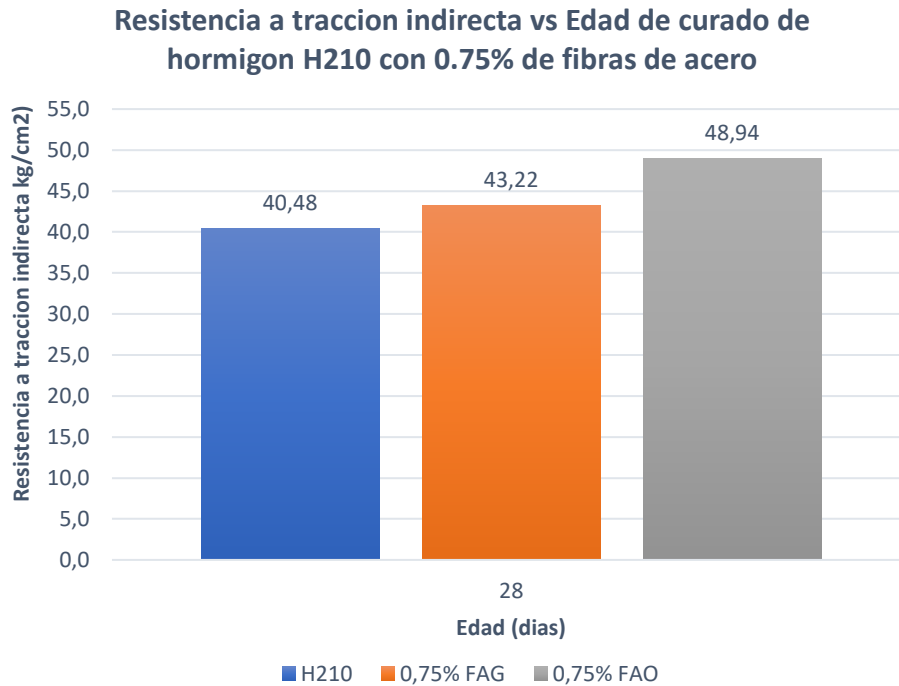
Tabla 42.

Resistencia a Tracción Indirecta de hormigón patrón +0.75% de FAG y FAO.

Identificación	Edad	Dimensiones (cm)		Carga	Carga	Resistencia	R.
		Días	Diámetro	Altura	Kn	Kg	Kg/cm ²
H210+ 0.75% FAG	28	10,33	20,46	137,6	14031,2	42,26	
							43,22
H210 + 0.75% FAG	28	10,33	20,36	143,1	14592,1	44,17	
H210 + 0.75% FAO	28	10,23	20,22	152,7	15571,0	47,92	
H210 + 0.75% FAO	28	10,30	20,41	161,7	16488,7	49,96	48,94

Gráfico 17.

Diagrama de barras de resistencia a tracción indirecta de hormigon+0.75% de FAG y FAO.



Análisis: la mezcla patrón presenta un valor de 40.48 kg/cm², mientras que la incorporación de 0.75% de fibra de acero con gancho (FAG) eleva la resistencia un 6.8% con 43.22 kg/cm² y la fibra de acero ondulada (FAO) en un 20.9% con 48.94 kg/cm². Este incremento demuestra que la adición de fibras de acero, en especial su forma ondulada, tiene un impacto positivo en la capacidad del hormigón para resistir esfuerzos de tracción. Dicho comportamiento es fundamental en el diseño de estructuras que requieren mayor ductilidad y control de fisuración.

Los resultados alinean con estudios previos que reportan ganancias similares en hormigones fibrorreforzados, validando su uso en normas como ACI 544 para diseño estructural con. Estos hallazgos posicionan a la FAO 0.75% como la variante óptima para obras civiles expuestas a ambientes agresivos, recomendando su implementación en proyectos donde la durabilidad bajo tracción sea prioritaria, siempre complementada con curado adecuado y control de trabajabilidad durante el colado.

4.3.3.4 Resultado de resistencia a tracción Indirecta del hormigón H210 + 1% de FAG y FAO

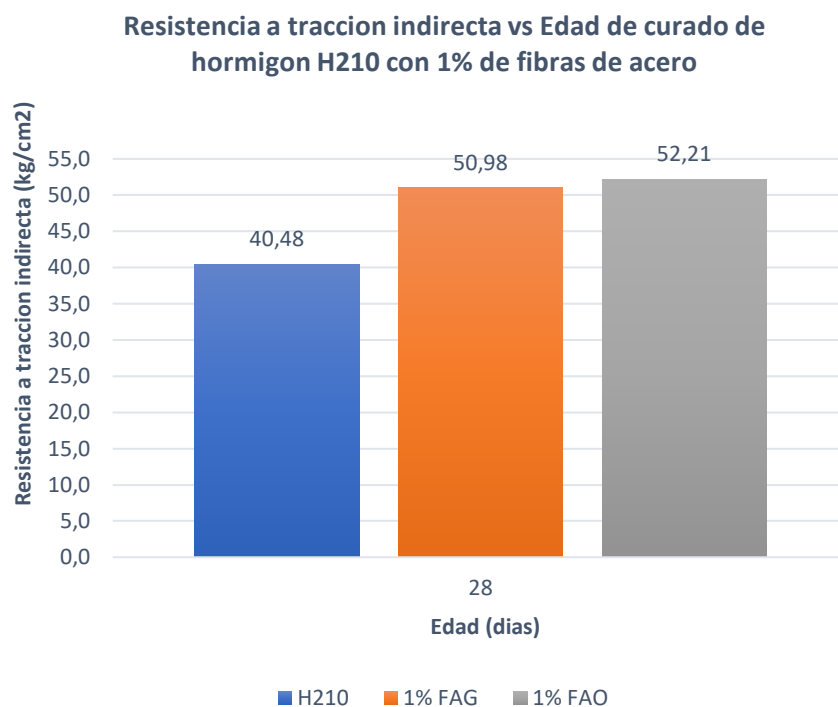
Tabla 43.

Resistencia a tracción indirecta del hormigón H210+1% de FAG y FAO

Identificación	Edad	Dimensiones (cm)		Carga Kn	Carga Kg	Resistencia Kg/cm ²	R. Promedio Kg/cm ²
		Días	Diámetro				
H210 + 1% FAG	28	10,34	20,56	152,4	15540,4	46,56	50,98
H210 + 1% FAG	28	10,31	20,66	181,7	18528,1	55,40	
H210 + 1% FAO	28	10,27	20,46	151	15397,6	46,67	52,21
H210 + 1% FAO	28	10,31	20,38	186,9	19058,4	57,74	

Gráfico 18.

Diagrama de barras de resistencia a tracción indirecta de hormigón H210+1% de FAG y FAO



Análisis: observamos en la gráfica 12 que el hormigón convencional obtiene una resistencia de 40.48 kg/cm², mientras que el hormigón reforzado logra valores superiores: 50.98 kg/cm² con fibras de acero con gancho (FAG) que representa un incremento del 25.9% respecto a la muestra H210 y el 29% con 52.21 kg/cm² con la fibra de acero ondulada (FAO). Estos resultados evidencian que elevando el porcentaje de fibras a 1%, ya sea de gancho u ondulada, el hormigón gana tenacidad sin comprometer la resistencia básica. Sin embargo, se destaca que la fibra de acero ondulada mejor considerablemente la resistencia a tracción indirecta. La superioridad de la fibra ondulada (FAO) se atribuye a su geometría deformable, que genera un mejor anclaje mecánico en la matriz cementicia, distribuyendo las cargas de manera más eficiente y reduciendo la propagación de microfisuras. En contraste, las fibras con gancho (FAG) ofrecen un excelente agarre por deformación terminal, pero su rigidez puede limitar la uniformidad en la dispersión dentro de la mezcla. Además, ambos tipos de fibras contribuyen a una mayor ductilidad post-pico, lo que es crucial en estructuras sometidas a cargas dinámicas o sísmicas, al absorber energía y prevenir fallos frágiles

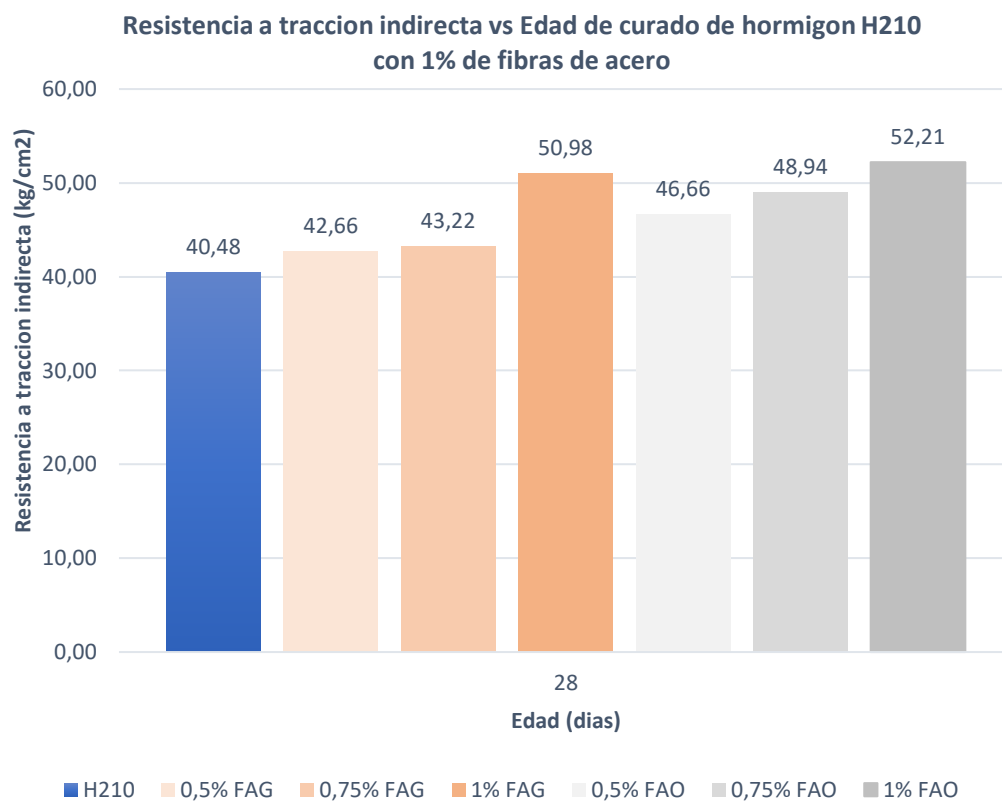
4.3.3.5 Copilado comparativo de resistencias a tracción indirecta.

Tabla 44.

Copilado comparativo de resistencias a Tracción Indirecta

RESISTENCIA A FLEXION PROMEDIO DE MEZCLAS DE HORMIGON (kg/cm ²)							
Edad (días)	H210	0.5% FAG	0.75% FAG	1% FAG	0.5% FAO	0.75% FAO	1% FAO
28	40,48	42,66	43,22	650,98	46,66	48,94	52,21

Gráfico 19. Diagrama de barras de resistencia a tracción indirecta de hormigón con incorporación de fibras de acero (0.5%, 0.75%, 1%).



Análisis: se observa que el hormigón patrón alcanza 40.84 kg/cm², mientras que cada incremento de porcentaje de fibra mejora la resistencia: la mezcla de 0.5% de fibra de acero con gancho (FAG) llega a 42.66 kg/cm² esto refleja un incremento del 5.3%, el 0.75% de fibra de acero con gancho (FAG) alcanza el 6.8% con 43.22 kg/cm² y con 1% de fibras de acero con gancho (FAG) llega a 50.98 kg/cm² que corresponde al 25.9%. Un comportamiento similar se registra para las mezclas con fibra ondulada, que van desde 46.66 kg/cm² con 0.5% de fibra de acero alrededor del 15.4% de incremento de resistencia hasta un máximo de 52.21 kg/cm² con 1% de fibra alcanza el 29% de incremento con respecto al hormigón H210. El incremento de resistencia a tracción indirecta no solo mejor el control de fisuración, sin que también aporta mayor seguridad y durabilidad a los elementos estructurales sometidos a esfuerzos externos. Es por ello que se concluyen que la mezcla con 1% de fibra de acero ondulada (FAO) muestra el mayor porcentaje de mejora frente a el hormigón convencional.

CAPITULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

- ✓ La caracterización de agregados realizada en el laboratorio de la Facultad de Ingeniería civil, evidencio que tanto el agregado grueso como el agregado fino cumplen con los requisitos establecidos por NTE INEN 696, ASTM C136 y ASTM C33. Mediante el ensayo de granulometría se determinó un módulo de finura del agregado fino de 2.86. la humedad equivalente al 1.58% y la absorción del 2.34% mientras que el agregado grueso estableció el tamaño máximo nominal siendo este de 25mm.
- ✓ Se diseño una mezcla convencional de hormigón con una resistencia característica de 210 kg/cm², siguiendo la guía del método ACI 211.1, para garantizar calidad y uniformidad en el diseño. A partir de esta mezcla, se incorporaron fibras de acero en proporciones de 0.5%, 0.75% y 1% respecto al volumen total de la mezcla (véase la tabla 29), empleando dos tipos de fibras de acero: ondulada y con gancho.
- ✓ La resistencia a la compresión del hormigón patrón H210 alcanzó 250.60 kg/cm², mientras que la incorporación de fibras de acero ondulada (FAO) en proporción de 0.5% elevo la resistencia en un 21.5% respecto al hormigón patrón H210 alcanzando 304.53 kg/cm² a los 28 días, sin afectar la trabajabilidad y compactación. En cuanto a la resistencia a flexión, el hormigón patrón alcanzó un módulo de rotura de 46.90 kg/cm².
- ✓ El Hormigón con incorporación del 0.75% y 1% de fibra de acero de gancho (FAG) alcanzan un módulo de rotura de 69.39 kg/cm² correspondiente al 47.4% del incremento de resistencia en comparación con el hormigón H210

- ✓ Por otro lado, se determinó que, al incorporar un 1% tanto de fibra de acero ondulada (FAO) como de fibra de acero con gancho (FAG), se alcanzaron valores de resistencia a tracción indirecta similares en ambas mezclas. Sin embargo, la mayor mejora se observó en la mezcla reforzada con FAO, que experimentó un aumento del 29% respecto al hormigón convencional H210 que registró una resistencia de 40.58 kg/cm²; en comparación con la fibra de acero ondulado logro una resistencia de 52.21 kg/cm², evidenciando así el impacto positivo de este refuerzo en el desempeño mecánico del material.

5.2 RECOMENDACIONES

- ✓ Se recomienda implementar el uso de fibras de acero en proporciones entre 0.75% y 1% en estructuras que demanden mayor control de fisuras y capacidad de disipar energía, favoreciendo la fibra de acero con gancho para flexión, el 0.5% de la fibra de acero ondulada para compresión, y el 1% de fibra de acero ondulada para facilitar la transferencia de carga efectiva y retrasando la formación de grietas.
- ✓ Segundo, se recomienda realizar la determinación de las propiedades físicas y mecánicas de los agregados siguiendo lo establecido en las normas ASTM C-136 y NTE INEN 696. El cumplimiento de estos procedimientos normativos garantiza resultados confiables y comparables para la caracterización de los materiales empleados en el diseño del hormigón.
- ✓ Tercero, se recomienda incorporar aditivos superplastificantes en mezclas con contenido de fibras mayores a los estudiados para preservar la trabajabilidad y asegurar una distribución uniforme, realizando el mezclado de manera gradual y evitando vacíos en las probetas.
- ✓ Quinto, se recomienda profundizar en estudios experimentales de durabilidad y respuesta en campo

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ACI. (2013). *ACI Concrete Terminology*. www.concrete.org
- ACI Comite 544. (2002). State of the Art Report on Fiber Reinforced Concrete Reported (ACI 544.1R-96 Reapproved 2002). *ACI Structural Journal*, 96(Reapproved), 66.
- Aizaga, H. J. L. (2024). Avances en el Uso del Hormigón Armado en Ingeniería Civil: Una revisión sistemática. *Magazine de Las Ciencias: Revista de Investigación e Innovación*, 9(3), 47–68.
<https://doi.org/10.33262/RMC.V9I3.3161>
- Al-Dala'ien, R. N., Syamsir, A., Abu Bakar, M. S., Usman, F., & Abdullah, M. J. (2023). Failure Modes Behavior of Different Strengthening Types of RC Slabs Subjected to Low-Velocity Impact Loading: A Review. *Journal of Composites Science* 2023, Vol. 7, Page 246, 7(6), 246.
<https://doi.org/10.3390/JCS7060246>
- Alejandro Quimi, E. R., & Merchán Reyes, C. A. (2019). *Diseño de un hormigón permeable mediante el método ACI 211.1 utilizando cantos rodados del río Manantial de Guangala que se encuentra en la comuna Manantial De Guangala*.
<https://repositorio.upse.edu.ec/server/api/core/bitstreams/2e808cd0-a3cc-4f23-862a-aa49a75329c8/content>
- ASTM C33. (2018). *Specification for Concrete Aggregates*. ASTM International.
https://doi.org/10.1520/C0033_C0033M-18
- ASTM C39/C39M. (2021). *Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens*. ASTM International.
https://doi.org/10.1520/C0039_C0039M-21
- ASTM C78. (2009). *Standard Test Method for Flexural Strength of Concrete (Using Simple Beam with Third-Point Loading)*. ASTM International.
<https://doi.org/10.1520/C0078-09>

- ASTM C127. (2024). *Standard Test Method for Relative Density (Specific Gravity) and Absorption of Coarse Aggregate*. ASTM International. <https://doi.org/10.1520/C0127-24>
- ASTM C128. (2022). *Standard Test Method for Relative Density (Specific Gravity) and Absorption of Fine Aggregate*. ASTM International. <https://doi.org/10.1520/C0128-22>
- ASTM C136. (2014). *Test Method for Sieve Analysis of Fine and Coarse Aggregates*. ASTM International. https://doi.org/10.1520/C0136_C0136M-14
- ASTM C496. (1996). *Standard Test Method for Splitting Tensile Strength of Cylindrical Concrete Specimens*. ASTM International. <https://doi.org/10.1520/C0496-96>
- ASTM C566. (2019). *Standard Test Method for Total Evaporable Moisture Content of Aggregate by Drying*. ASTM International. <https://doi.org/10.1520/C0566-19>
- ASTM C1157. (2008). *Performance Specification for Hydraulic Cement*. ASTM International. <https://doi.org/10.1520/C1157-08A>
- ASTM C1602. (2022). *Specification for Mixing Water Used in the Production of Hydraulic Cement Concrete*. ASTM International. https://doi.org/10.1520/C1602_C1602M-22
- Barros Balladares, D. J., & Larrea Carpio, J. J. (2025). *Análisis comparativo entre un hormigón convencional en relación a uno reforzado con fibra de vidrio en pavimentos vehiculares*.
- Becerra Duitama, J., Monroy Vargas, E. R., Rojas Avellaneda, D. A., & Espitia Nery, M. E. (2020). *Conceptos básicos de materiales de ingeniería*. <https://libros.jdc.edu.co/index.php/editorial/catalog/book/40>
- Brito, J., & Castro, S. (2017). *Influencia de la calidad de los agregados en la resistencia del hormigón*. [UNIVERSIDAD POLITECNICA SALESIANA]. <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/14751>

- Carrillo Julián, Aperador William, & González Giovanni. (2013). *Correlaciones entre las propiedades mecánicas del concreto reforzado con fibras de acero*. XIV, 437–452. <https://www.elsevier.es/es-revista-ingenieria-investigacion-tecnologia-104-pdf-S140577431372256X>
- Cuenca Asensio, E. (2021). Hormigones reforzados con fibras de acero. Conceptos fundamentales y aplicaciones estructurales. *Revista Hormigón 60*.
- DEACERO. (2022, January 13). *Inicios de la Fibra de Acero*.
- Espinales, V. J. P., Lago, B. C., & Mera, J. C. G. (2023). Composición de mezclas de agregados gruesos y finos en la resistencia a la compresión y porosidad del hormigón. *Polo Del Conocimiento*, 8(11), 600–613. <https://doi.org/10.23857/pc.v8i11.6227>
- Figueroa Andrade, M. (2013). *Comparativa de la Tenacidad entre hormigón convencional, hormigón reforzado con fibras de Acero y hormigón reforzado con fibras de Polipropileno*.
- Flor Chávez, G., Yáñez H., A., Robalino Cabrera, D., López Chipre, C., Cabrera Montes, F., & Arroyo Orozco, J. (2019). Determinación de cantidad óptima de Fibra de Acero para la elaboración de hormigón de cemento portland para losas de pavimentos rígidos. *Proceedings of the LACCEI International Multi-Conference for Engineering, Education and Technology, 2019-July*. <https://doi.org/10.18687/LACCEI2019.1.1.363>
- Garrote Villar, E. (2006). *El ensayo de tracción indirecta*.
- Gonzalez, E., & Alloza, A. M. (n.d.). *Ensayo Brasileiro*. 1–4. Retrieved September 23, 2025, from https://campusvirtual.ull.es/ocw/pluginfile.php/2094/mod_page/content/3/FichasTemas/tema15-brasileno.pdf
- González Rodríguez, M. F. (2017). *Análisis de fractura en ensayos de compresión para materiales compuestos utilizando pruebas ópticas no destructivas*.
- Guarderas Alegria. (n.d.). *Hormigón - Excelencia en la construcción - Revista CLAVE!* Retrieved August 24, 2025, from <https://www.clave.com.ec/hormigon-excelencia-en-la-construccion/>

- Heras Delgadillo, J. E. (1990). *Concreto reforzado con fibras de acero, usos y propiedades*.
- Lehne, J., & Preston, F. (2018). *Making Concrete Change: Innovation in Low-carbon Cement and Concrete* | Chatham House – International Affairs Think Tank. <https://www.chathamhouse.org/2018/06/making-concrete-change-innovation-low-carbon-cement-and-concrete>
- León, L., & Rodríguez, C. (2022). *Factores que influyen en la resistencia a la compresión del hormigón. Estado del arte*. 16. <https://www.redalyc.org/journal/1939/193972950003/>
- Li, X., Xue, W., Fu, C., Yao, Z., & Liu, X. (2019). Mechanical Properties of High-Performance Steel-Fibre-Reinforced Concrete and Its Application in Underground Mine Engineering. *Materials*, 12(15), 2470. <https://doi.org/10.3390/MA12152470>
- Li, Y., Zhang, Q., Kamiński, P., Deifalla, A. F., Sufian, M., Dyczko, A., Kahla, N. Ben, & Atig, M. (2022). Compressive Strength of Steel Fiber-Reinforced Concrete Employing Supervised Machine Learning Techniques. *Materials*, 15(12), 4209. <https://doi.org/10.3390/MA15124209/S1>
- Mármol Salazar, P. (2010). *Hormigones con fibras de acero: Características mecánicas*.
- Meneses, J., & Soriano, R. (2022). *Análisis comparativo de la permeabilidad de hormigones $f'c = 240 \text{ kg/cm}^2$ con tres aditivos tipo S, para el uso en la zona costera de la Provincia de Santa Elena*. UPSE.
- Moreno, E., Solis, R., Varela Jorge, & Gómez Marco. (2016). *Resistencia a tensión del concreto elaborado con agregado calizo de alta absorción*. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-30112016000200035
- National Ready Mixed Concrete Association. (2020). *CIP 16-Resistencia a Flexión del concreto*. www.nrmca.org.
- Navarro-Gómez, A., & Bonet, J. L. (2019). Improving the seismic behaviour of reinforced concrete moment resisting frames by means of SMA bars and ultra-

high performance concrete. *Engineering Structures*, 197, 109409.
<https://doi.org/10.1016/J.ENGSTRUCT.2019.109409>

NTE INEN 696. (2011). *Áridos. Análisis Granulométrico en los agregados fino y grueso.*

NTE INEN 856. (2010). *Áridos. Determinación de la densidad, Densidad relativa (Gravedad Específica) y Absorción del árido fino.*

NTE INEN 857. (2010). *Áridos. Determinación de la densidad, Densidad relativa (Gravedad Específica) y Absorción del árido grueso.*

NTE INEN 862. (2011). *Áridos para hormigón. Determinación del contenido total de humedad.*

NTE INEN 1573. (2010). *Hormigón de cemento hidráulico. Determinación de la resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos de hormigón de cemento hidráulico.* <https://es.scribd.com/document/334549037/Nte-Inen-1573>

NTE INEN 1762. (2015). *Hormigón. Definiciones Y Terminología.*

NTE INEN 2554. (2011). *Hormigón de cemento hidráulico. Determinación de la resistencia a la Flexión del hormigón (utilizando una viga simple con carga en los tercios).* <https://es.scribd.com/document/398327295/2554-vigas-hormigon>

NTE INEN 2617. (2012). *Hormigón de cemento hidráulico. Agua para mezcla. Requisitos.*

Parrales, V., Chiliquinga, B., & Guerra, J. (2023). Composición de mezclas de agregados gruesos y finos en la resistencia a compresión y porosidad del hormigón. *Polo Del Conocimiento*, 8.
<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=9252197>

Paul, S. C., van Zijl, G. P. A. G., & Šavija, B. (2020). Effect of Fibers on Durability of Concrete: A Practical Review. *Materials* 2020, Vol. 13, Page 4562, 13(20), 4562. <https://doi.org/10.3390/MA13204562>

- Peña, D., Rodriguez, J., Salcedo, D., Suarez Pereira, M., Peña, D., Rodriguez, J., Salcedo, D., & Suarez Pereira, M. (2022). Estimación de daños ocasionados por la carbonatación en estructuras de concreto armado en la Ciudad de Nirgua. *Gaceta Técnica*, 23(2), 88–106. <https://doi.org/10.51372/GACETATECNICA232.7>
- Robuschi, S., Ivanov, O. L., Geiker, M., Fernandez, I., & Lundgren, K. (2023). Impact of cracks on distribution of chloride-induced reinforcement corrosion. *Materials and Structures/Materiaux et Constructions*, 56(1), 1–22. <https://doi.org/10.1617/S11527-022-02085-6/FIGURES/14>
- Romea, C. (2014). El hormigón: breve reseña histórica de un material milenario. In *Aplicaciones avanzadas de los materiales compuestos en la obra civil y la edificación* (pp. 1–18). OmniaScience. <https://doi.org/10.3926/oms.199>
- Santos Cortés, L. del C. (2006). *Contribución de fibras PP provenientes de plásticos reciclados en el agrietamiento y resistencia del concreto en pavimentos portuarios de Veracruz*. <https://cdigital.uv.mx/items/45389d86-123b-4991-8945-a0f3098ceafe>
- Sanz-Díez de Ulzurrun Casals, G., & Zanuy Sánchez, C. (2017). Caracterización del comportamiento en flexión del hormigón reforzado con fibras sometido a impacto. *Hormigón y Acero*, 68(282), 139–145. <https://doi.org/10.1016/J.HYA.2017.04.003>
- Silva Tipantasig, L. G. (2014). *Comportamiento del hormigón reforzado con fibras de acero y su influencia en sus propiedades mecánicas en el cantón Ambato, provincia de Tungurahua* [Universidad Técnica de Ambato]. https://rraae.cedia.edu.ec/vufind/Record/UTA_c04839cdd779dd034396e60977faabef?sid=3019240
- Vega Neyra, C. S., Mendoza Flores, C. M., De La Cruz Vega, S. A., Lavado Enriquez, J. M., & Huaman Baldeon, D. L. (2025). Evaluación comparativa de cementos Portland tipo I: implicaciones técnicas para la industria de la construcción. *Revista Athenea*, 6, 43–53. <https://doi.org/10.47460/athenea.v6i20.95>

ANEXOS

ANEXO 1.

Ensayo de granulometría de agregado grueso

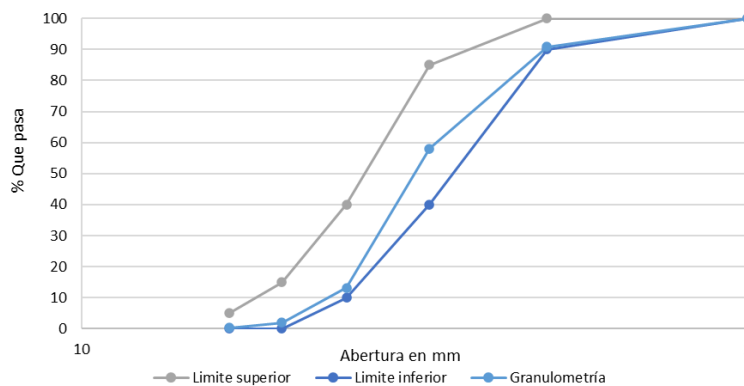
GRANULOMETRÍA AGREGADO GRUESO							
TAMIZ	ABERTURA	W PARCIAL	% RETENIDO	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA	ESPECIFICACIONES A.S.T.M	
						Nº 56	
2"	50	0	0,00	0,00	100,00		
1 1/2"	37.5	0	0,00	0,00	100,00	100	100
1"	25	1.374,000	9,18	9,18	90,82	90	100
3/4"	19	4.915,000	32,85	42,03	57,97	40	85
1/2"	12.5	6.695,000	44,75	86,78	13,22	10	40
3/8"	9.5	1.674,000	11,19	97,97	2,03	0	15
Nº 4	4.75	263,000	1,76	99,73	0,27	0	5
Nº 8	2.36	10,000	0,07	99,80	0,20		
Nº 16	1,18	1,810	0,01	99,81	0,19		
FONDO		28,620	0,19	100,00	0,00		
TOTAL		14961,43	100,00			TMN= 1"	

Requisito para que se cumpla el módulo de finura en agregado grueso entre 5 y 7 según ASTM C-33

$$MF = \frac{\sum \% \text{retenido_acumulado}(6''+3''+1\frac{1}{2}''+\frac{3}{4}''+\frac{3}{8}''+N^{\circ}4+N^{\circ}8+N^{\circ}16+N^{\circ}30+N^{\circ}50+N^{\circ}100)}{100}$$

¿CUMPLE REQUISITO?		
Modulo de Finura	6,35	SI

Granulometría del agregado grueso



ANEXO 2.

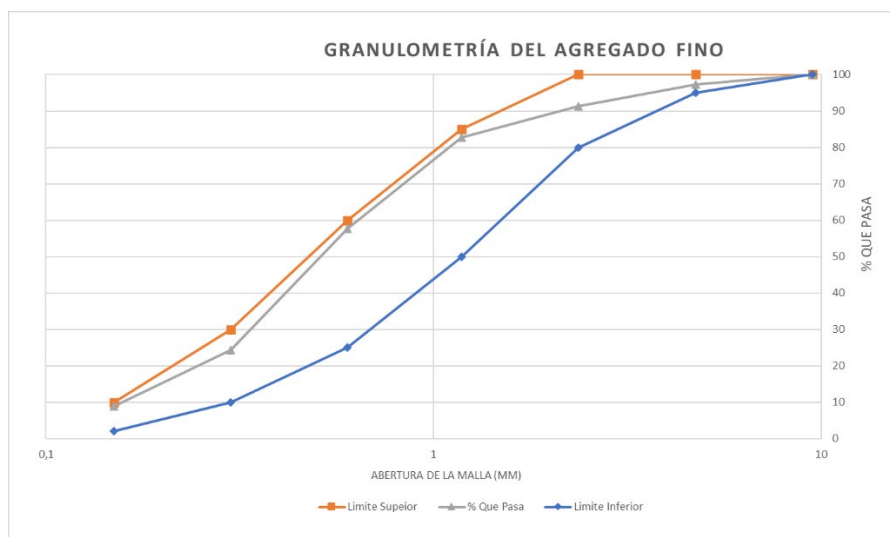
Ensayo de granulometría de agregado fino

GRANULOMETRÍA AGREGADO FINO							
TAMIZ	ABERTURA	W PARCIAL	% RETENIDO	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA	ESPECIFICACIÓN A.S.T.M	
1/8"	9,5	0	0,00	0,00	100,00	100	100
√º 4	4,75	39,16	2,71	2,71	97,29	95	100
√º 8	2,36	85,41	5,90	8,61	91,39	80	100
√º 16	1,18	124,54	8,61	17,22	82,78	50	85
º 30	0,6	362,72	25,07	42,29	57,71	25	60
º 50	0,3	481,89	33,31	75,60	24,40	10	30
º 100	0,15	224,62	15,53	91,13	8,87	2	10
FONDO		128,38	8,87	100,00	0,00	0	0
TOTAL		1446,720	100,00				

Requisito para que se cumpla el módulo de finura en agregado fino entre 2.3 y 3.1 según ASTM C-33

$$MF = \frac{\sum \%retenido_acumulado(6''+3''+1\frac{1}{2}''+\frac{3}{4}''+\frac{3}{8}''+N^{\circ}4 + N^{\circ}8 + N^{\circ}16 + N^{\circ}30 + N^{\circ}50 + N^{\circ}100)}{100}$$

		¿CUMPLE REQUISITO?
Módulo de Finura	2,38	SI



ANEXO 3.

Ensayo de densidad y absorción del agregado grueso.

AGREGADO GRUESO					
PESO VOLUMÉTRICO SUELTO			PESO VOLUMÉTRICO VARILLADO		
VOLUMEN	0,0097369	m ³	VOLUMEN	0,009737	m ³
P.V.S + RECIPIENTE	23,29	kg	P.V.V + RECIPIENTE	25,26	kg
RECIPIENTE	10,92	kg	RECIPIENTE	10,92	kg
PESO	12,37	kg	PESO	14,34	kg
P.V.S	1270,43	kg/m ³	P.V.V	1472,75	kg/m ³

DENSIDAD SATURADA SUPERFICIALMENTE SECA (D.S.S.S)		
P.S.S.S.	2000	gr
W (canastilla sumergida)	1027	gr
W (canastilla sumergida + material)	2207	gr
W (canastilla sumergida + material) - W (canastilla)	1180	gr
VOLUMEN	820,00	cm ³
D.S.S.S.	2,44	gr/cm ³
	2439,02	kg/m ³

PESO GRAVA SATURADA (gr)	PESO GRAVA SECA (gr)	AGUA DESALOJADA	% Absorción
2000	1972	28	1,42

ANEXO 4.

Ensayo de densidad y absorción del agregado fino.

AGREGADO FINO					
PESO VOLUMÉTRICO SUELTO			DENSIDAD SATURADA SUPERFICIALMENTE SECA		
VOLUMEN	0,00281	m ³	P.S.S.S.	500	gr
P.V.S + RECIPIENTE	7,7	kg	LECTURA INICIAL	200	gr
RECIPIENTE	4,42	kg	LECTURA FINAL	397	gr
PESO	3,28	kg	W Desalojado	197	gr
P.V.S	1167,26	kg/m ³	V Desalojado	197	cm ³
D.S.S.S.			2,54	gr/cm ³	2538,07
					kg/m ³

PESO ARENA SATURADA (gr)	PESO ARENA SECA (gr)	AGUA DESALOJADA	% Absorción
368,44	360,84	7,6	2,11

ANEXO 5.*Ensayo de contenido de humedad del agregado fino y grueso.*

HUMEDAD DE ARENA		HUMEDAD DE GRAVA	
RECIPIENTE	#2 DC4	RECIPIENTE	E
W RECIPIENTE (gr)	46,200	W RECIPIENTE (gr)	74,280
W ARENA+ R	500,520	W GRAVA + R	1395,280
W ARENA SECA+ R	471,090	W GRAVA SECA+ R	1390,280
W de AGUA	29,430	W de AGUA	5,000
W ARENA SECA	424,890	W GRAVA SECA	1316,000
HUMEDAD (%)	6,93	HUMEDAD	0,38

ANEXO 6.*Resumen de resultados de ensayos de agregados: fino y grueso*

RESUMEN DE DATOS		
Peso específico del cemento	3150	kg/m ³
ARENA		
Módulo de finura de la arena	2,38	
Peso volumetrico de la arena	1167,26	kg/m ³
D.S.S.S. de la arena	2538,07	Kg/m ³
Absorción de la arena	2,11	%
Humedad de la arena	6,93	%
GRAVA		
Peso volumetrico suelto de la grava	1270,43	kg/m ³
Peso volumetrico varillado de la grava	1472,75	kg/m ³
D.S.S.S. de la grava	2439,02	kg/m ³
Tamaño máximo del agregado (GRAVA)	25	mm
Absorción de la grava	1,42	%
Humedad de la grava	0,38	%

ANEXO 7.

Dosificación de hormigón $f'c=210\text{kg/cm}^2$

DISEÑO DE HORMIGÓN HIDRÁULICO

F' c	210	kg/cm ²
Desviación	84	
F' cr (sin aire)	294	kg/cm ²
F' cr (con aire)	0	kg/cm ²
Reverimiento	9,00	cm

AGUA

Tamaño máximo de la grava			
25		mm	
CANTIDAD DE AGUA		AIRE ATRAPADO	
193	kg/m ³	2	%

Relacion a/c	0,55
CANTIDAD DE CEMENTO	
351,93	kg/m ³

AGREGADO GRUESO

Tabla A5.	MF arena	P.V.V.	
0,71	2,38	1472,75	kg/m ³
CANTIDAD DE GRAVA			
1048,60		kg/m ³	

CALCULO DE CANTIDAD DE AGREGADO FINO

Cantidad de Materiales para 1 m³ de hormigón

Materiales	W (kg)	D (kg/m ³)	V (m ³)
Agua	193	1000	0,193
Cemento	352	3150	0,112
Grava	1049	2439,02	0,430
Arena	623	2538,07	0,245
Aire	0	0,02	0,020
Total	2216		1,000

ANEXO 8.

Corrección por humedad y absorción de agregados.

	CORRECCION POR HUMEDAD Y ABSORCION						Diferencia	W (kg)
	W (kg)	Humedad		Absorción				
		%	kg	%	kg			
AIRE								
CEMENTO	351,93						351,93	
GRAVA	1048,60	0,38	3,98	1,42	-14,89	-10,90	1052,58	
ARENA	622,71	6,93	43,13	2,11	-13,12	30,02	665,85	
AGUA	193		-47,12		28,00	19,11	173,89	
TOTAL	2216,25	Para un metro cúbico						2244,25

D (kg/m ³)	V (m ³)	%propor V
	0,020	2,0
3150	0,112	11,2
2439,02	0,432	43,2
2538,07	0,262	26,2
1000	0,174	17,4
	1,00	100,00

ANEXO 9.*Volumen de cilindro de probetas para ensayo de compresion.*

Datos cilindro		
Pi	3,14156	
Radio	0,075	m
$A= \pi * r^2$	0,017671275	m ²
h	0,3	m
V. cilindro	0,005301383	m ³
# cilindros	10	unidades
VolumenCilindro	0,05301	m ³

DESPERDICIO	# Cilindros
0,15	10,15
Volumen requerido	0,053014376
Volumen con desperdicios	0,060966532

ANEXO 10.*Cantidad de fibra.*

% fibra	0,5%	0,75%	1,0%
volumen de fibra de acero	0,000304833	0,000457249	0,000609665
densidad del acero (kg/m ³)	7850		
cantidad de fibra de acero (kg)	2,39	3,59	4,79
Fibra Total	10,77		

ANEXO 11.*Volumen de cilindros para ensayo de tracción indirecta.*

Datos cilindro pequeño		
Pi	3,14156	
Radio	0,05	m
$A= \pi * r^2$	0,0078539	m ²
h	0,2	m
V. cilindro	0,00157078	m ³
# cilindros	2	unidades
VolumenCilindro	0,00314	m ³

DESPERDICIO	# Cilindros
0,15	2,15
Volumen requerido	0,003141593
Volumen con desperdicios	0,003612832

ANEXO 12.

Cantidad de fibra.

% fibra	0,5%	1%	1,5%
volumen de fibra de acero	1,80642E-05	3,61283E-05	5,41925E-05
densidad del acero (kg/m ³)	7850		
cantidad de fibra de acero (kg)	0,141803638	0,283607277	0,425410915
Fibra Total	0,85		

ANEXO 13.

Dosificación de materiales de probetas para ensayo tracción indirecta.

	w (kg)			
	Mezcla patron	0,50%	1%	1,50%
AIRE				
CEMENTO	1,27	1,27	1,27	1,27
GRAVA	3,75	3,75	3,75	3,75
ARENA	2,41	2,41	2,41	2,41
AGUA	0,63	0,63	0,63	0,63
ACERO	0	0,14	0,28	0,43
TOTAL	8,05	8,19	8,34	8,48

ANEXO 14.

Volumen para vigas.

Datos vigas		
Alto	0,15	m
Ancho	0,15	m
Largo	0,5	m
Area	0,075	m ²
V. vigas	0,01125	m ³
# vigas	3	unidades
Volumen vigas	0,03375	m ³

DESPERDICIO	# vigas
0,15	3,15
Volumen requerido	0,03375
Volumen con desperdicios	0,044634375

ANEXO 15.

Cantidad de fibra.

% fibra	0,5%	0,75%	1,0%
volumen de fibra de acero	0,000223172	0,000334758	0,000446344
densidad del acero (kg/m ³)	7850		
cantidad de fibra de acero (kg)	1,751899219	2,627848828	3,503798438
Fibra Total	7,88		

ANEXO 16.

Cantidad para dosificación de vigas para ensayo de flexión.

	w (kg)			
	Mezcla patron	0,50%	0,75%	1,00%
AIRE				
CEMENTO	15,71	15,71	15,71	15,71
GRAVA	46,32	46,32	46,32	46,32
ARENA	29,73	29,73	29,73	29,73
AGUA	7,73	7,73	7,73	7,73
ACERO	0	1,75	2,63	3,50
TOTAL	99,49	101,24	102,12	102,99

ANEXO 17.

Roturas de cilindro de hormigón muestra H210 - Ensayo de compresión.

IDENTIFICACION		FECHA DE VACIADO	FECHA DE ROTURA	DIAMETRO DEL CILINDRO		DIAMETRO PROMEDIO (CM)	ALTURA (CM)	AREA (CM2)	PESO (KG)	VOLUMEN (CM3)
NOMBRE	N°			D1 (CM)	D2 (CM)					
2	15/8/2025	22/8/2025	15,17	15,09	15,13	30,04	179,79	12,82	5400,92	
3	15/8/2025	29/8/2025	15,19	15,17	15,18	29,95	180,98	12,86	5420,39	
4	15/8/2025	29/8/2025	15,19	15,13	15,16	30,24	180,50	13,02	5458,46	
5	15/8/2025	5/9/2025	15,32	15,14	15,23	29,95	182,18	12,88	5456,15	
6	15/8/2025	5/9/2025	15,05	15,16	15,11	30,02	179,20	12,74	5379,50	
7	15/8/2025	12/9/2025	15,22	15,16	15,19	30,20	181,22	12,68	5472,84	
8	15/8/2025	12/9/2025	15,25	15,15	15,20	29,72	181,46	13,00	5392,94	

ROTURA				DISEÑO		ROTURA		EFICIENCIA %
EDAD (DIAS)	CARGA (KN)	RESISTENCIA (KG/CM2)	RESISTENCIA (MPA)	%	PROMEDIO (KG/CM2)	%	PROMEDIO (KG/CM2)	
7	311,30	176,09	17,27	65,00	137	84,02	176,440	19,019
7	311,70	176,79	17,34					
14	413,10	232,76	22,83	90,00	189	111,61	234,391	21,615
14	417,80	236,03	23,15					
21	432,10	241,87	23,72	95,00	200	115,66	242,879	20,657
21	428,60	243,89	23,92					
28	442,00	248,71	24,39	100,00	210	119,33	250,599	19,333
28	449,30	252,49	24,76					

ANEXO 18.

Roturas de cilindros de hormigón con 0.5% de fibra de acero con gancho - Ensayo de compresión.

IDENTIFICACION		FECHA DE VACIADO	FECHA DE ROTURA	DIAMETRO DEL CILINDRO		DIAMETRO PROMEDIO (CM)	ALTURA (CM)	AREA (CM2)	PESO (KG)	VOLUMEN (CM3)
NOMBRE	N°			D1 (CM)	D2 (CM)					
10	27/8/2025	3/9/2025	15,13	15,20	15,17	28,98	180,62	12,72	5234,47	
11	27/8/2025	10/9/2025	15,16	15,22	15,19	29,90	181,22	12,70	5418,47	
12	27/8/2025	10/9/2025	15,02	15,18	15,10	30,01	179,08	12,74	5374,15	
13	27/8/2025	17/9/2025	15,26	15,36	15,31	29,89	184,09	12,82	5502,58	
14	27/8/2025	17/9/2025	15,18	15,22	15,20	29,74	181,46	12,78	5396,57	
15	27/8/2025	24/9/2025	15,17	15,15	15,16	29,93	180,48	12,72	5401,79	
16	27/8/2025	24/9/2025	15,24	15,27	15,26	29,97	182,77	12,84	5477,74	

ROTURA				DISEÑO		ROTURA		EFICIENCIA %
EDAD (DIAS)	CARGA (KN)	RESISTENCIA (KG/CM2)	RESISTENCIA (MPA)	%	PROMEDIO (KG/CM2)	%	PROMEDIO (KG/CM2)	
7	364,70	204,54	20,06	65,00	137	85,81	180,207	20,813
7	276,10	155,87	15,29					
14	394,5	221,98	21,77	90,00	189	107,79	226,357	17,789
14	405,2	230,73	22,63					
21	529,80	293,46	28,78	95,00	200	132,20	277,610	37,195
21	465,80	261,76	25,67					
28	526,80	297,64	29,19	100,00	210	145,02	304,534	45,016
28	558,20	311,43	30,54					

ANEXO 19.

Roturas de cilindros de hormigón con 0.75% de fibra de acero con gancho - Ensayo de compresión.

IDENTIFICACION		FECHA DE VACIADO	FECHA DE ROTURA	DIAMETRO DEL CILINDRO		DIAMETRO PROMEDIO (CM)	AL TURA (CM)	AREA (CM2)	PESO (KG)	VOLUMEN (CM3)
NOMBRE	N°			D1 (CM)	D2 (CM)					
26	19/9/2025	26/9/2025	15,18	15,16	15,17	29,83	180,74	12,78	5391,56	
27	19/9/2025	3/10/2025	15,23	15,20	15,22	29,85	181,82	12,62	5427,23	
28	19/9/2025	3/10/2025	15,21	15,24	15,23	30,08	182,06	12,60	5476,24	
29	19/9/2025	10/10/2025	15,20	15,20	15,20	30,13	181,46	13,00	5467,34	
30	19/9/2025	10/10/2025	15,15	15,26	15,21	30,11	181,58	13,06	5467,31	
31	19/9/2025	17/10/2025	15,13	15,24	15,19	29,80	181,10	12,94	5396,79	
32	19/9/2025	17/10/2025	15,09	15,08	15,09	29,94	178,72	12,88	5350,97	

ROTURA				DISEÑO		ROTURA		EFICIENCIA %
EDAD (DIAS)	CARGA (KN)	RESISTENCIA (KG/CM2)	RESISTENCIA (MPA)	%	PROMEDIO (KG/CM2)	%	PROMEDIO (KG/CM2)	
7	273,20	158,28	15,52	65,00	137	88,18	185,178	23,180
7	375,90	212,08	20,80					
14	331,90	186,15	18,25	90,00	189	98,44	206,720	8,438
14	405,80	227,29	22,29					
21	409,50	230,12	22,57	95,00	200	99,37	208,677	4,370
21	333,40	187,23	18,36					
28	342,50	192,85	18,91	100,00	210	102,93	216,156	2,932
28	419,70	239,46	23,48					

ANEXO 20.

Roturas de cilindros de hormigón con 1% de fibras de acero con gancho – Ensayo de compresión.

IDENTIFICACION		FECHA DE VACIADO	FECHA DE ROTURA	DIAMETRO DEL CILINDRO		DIAMETRO PROMEDIO (CM)	AL TURA (CM)	AREA (CM2)	PESO (KG)	VOLUMEN (CM3)
NOMBRE	N°			D1 (CM)	D2 (CM)					
18	28/8/2025	4/9/2025	15,21	15,16	15,19	30,17	181,10	12,94	5463,80	
19	28/8/2025	11/9/2025	15,24	15,32	15,28	30,27	183,37	12,90	5550,72	
20	28/8/2025	11/9/2025	15,34	15,22	15,28	30,23	183,37	13,08	5543,38	
21	28/8/2025	18/9/2025	15,02	15,13	15,08	30,13	178,49	12,84	5377,79	
22	28/8/2025	18/9/2025	15,12	15,26	15,19	30,04	181,22	12,74	5443,84	
23	28/8/2025	25/9/2025	15,13	15,17	15,15	30,24	180,27	12,76	5451,26	
24	28/8/2025	25/9/2025	15,22	15,19	15,21	29,85	181,58	12,78	5420,10	

ROTURA				DISEÑO		ROTURA		EFICIENCIA %
EDAD (DIAS)	CARGA (KN)	RESISTENCIA (KG/CM2)	RESISTENCIA (MPA)	%	PROMEDIO (KG/CM2)	%	PROMEDIO (KG/CM2)	
7	231,50	132,17	12,96	65,00	137	64,53	135,512	-0,471
7	246,60	138,85	13,62					
14	254,40	141,47	13,87	90,00	189	77,16	162,044	-12,836
14	328,40	182,62	17,91					
21	282,80	161,57	15,84	95,00	200	91,75	192,676	-3,250
21	397,70	223,78	21,95					
28	467,60	264,51	25,94	100,00	210	108,69	228,257	8,694
28	341,90	192,01	18,83					

ANEXO 21.

Roturas de cilindros de hormigón con 0.5% de fibras de acero ondulada – Ensayo de compresión.

IDENTIFICACION		FECHA DE VACIADO	FECHA DE ROTURA	DIAMETRO DEL CILINDRO		DIAMETRO PROMEDIO (CM)	AL TURA (CM)	AREA (CM2)	PESO (KG)	VOLUMEN (CM3)
NOMBRE	N°			D1 (CM)	D2 (CM)					
34	11/9/2025	18/9/2025	15,13	15,15	15,14	30,02	180,03	12,88	5404,46	
35	11/9/2025	25/9/2025	15,18	15,28	15,23	30,18	182,18	13,00	5498,05	
36	11/9/2025	25/9/2025	15,37	15,27	15,32	30,38	184,33	12,94	5600,09	
37	11/9/2025	2/10/2025	15,02	15,17	15,10	30,38	178,96	13,04	5436,81	
38	11/9/2025	2/10/2025	15,17	15,24	15,21	30,28	181,58	13,14	5498,18	
39	11/9/2025	9/10/2025	15,22	15,19	15,21	29,92	181,58	12,78	5432,81	
40	11/9/2025	9/10/2025	15,34	15,29	15,32	29,85	184,21	12,72	5498,80	

ROTURA				DISEÑO		ROTURA		EFICIENCIA %
EDAD (DIAS)	CARGA (KN)	RESISTENCIA (KG/CM2)	RESISTENCIA (MPA)	%	PROMEDIO (KG/CM2)	%	PROMEDIO (KG/CM2)	
7	323,50	183,72	18,02	65,00	137	53,76	112,900	-11,238
7	339,40	192,24	18,85					
14	397,70	222,61	21,83	90,00	189	96,45	202,553	6,454
14	329,90	182,50	17,90					
21	454,70	259,09	25,41	95,00	200	129,01	270,924	34,011
21	503,50	282,76	27,73					
28	529,80	297,53	29,18	100,00	210	144,28	302,983	44,278
28	557,20	308,44	30,25					

ANEXO 22.

Roturas de cilindros de hormigón con 0.75% de fibras de acero ondulada – Ensayo de compresión.

IDENTIFICACION		FECHA DE VACIADO	FECHA DE ROTURA	DIAMETRO DEL CILINDRO		DIAMETRO PROMEDIO (CM)	ALTURA (CM)	AREA (CM ²)	PESO (KG)	VOLUMEN (CM ³)
NOMBRE	N°			D1 (CM)	D2 (CM)					
50	17/9/2025	24/9/2025	15,15	15,21	15,18	29,87	180,98	12,56	5405,91	
51	17/9/2025	1/10/2025	15,08	15,12	15,10	29,87	179,08	12,58	5349,08	
52	17/9/2025	1/10/2025	15,20	15,30	15,25	30,08	182,65	12,86	5494,24	
53	17/9/2025	8/10/2025	15,17	15,26	15,22	30,02	181,82	12,80	5458,14	
54	17/9/2025	8/10/2025	15,21	15,33	15,27	29,98	183,13	12,92	5490,34	
55	17/9/2025	15/10/2025	15,15	15,25	15,20	29,86	181,46	12,78	5418,35	
56	17/9/2025	15/10/2025	15,26	15,28	15,27	29,96	183,13	12,94	5486,68	

ROTURA				DISEÑO		ROTURA		EFICIENCIA %
EDAD (DIAS)	CARGA (KN)	RESISTENCIA (KG/CM ²)	RESISTENCIA (MPA)	%	PROMEDIO (KG/CM ²)	%	PROMEDIO (KG/CM ²)	
7	299,00	167,03	16,38	65,00	137	75,00	157,497	9,998
7	262,60	147,96	14,51					
14	325,80	185,52	18,19	90,00	189	84,81	178,092	-5,194
14	305,70	170,67	16,74					
21	439,80	246,66	24,19	95,00	200	102,08	214,370	7,081
21	327,00	182,08	17,86					
28	450,50	253,16	24,83	100,00	210	124,01	260,411	24,005
28	480,70	267,66	26,25					

ANEXO 23.

Rotura de cilindros de hormigón con 1% de fibra de acero ondulada – Ensayo de compresión.

IDENTIFICACION		FECHA DE VACIADO	FECHA DE ROTURA	DIAMETRO DEL CILINDRO		DIAMETRO PROMEDIO (CM)	ALTURA (CM)	AREA (CM ²)	PESO (KG)	VOLUMEN (CM ³)
NOMBRE	N°			D1 (CM)	D2 (CM)					
42	12/9/2025	19/9/2025	15,29	15,28	15,29	30,04	183,49	12,92	5512,15	
43	12/9/2025	26/9/2025	15,17	15,18	15,18	29,93	180,86	12,84	5413,20	
44	12/9/2025	26/9/2025	15,20	15,11	15,16	29,95	180,39	12,76	5402,55	
45	12/9/2025	3/10/2025	15,16	13,10	14,13	29,86	156,81	12,75	4682,35	
46	12/9/2025	3/10/2025	15,23	15,23	15,23	30,02	182,18	12,88	5468,90	
47	12/9/2025	10/10/2025	15,14	15,24	15,19	29,90	181,22	12,68	5418,47	
48	12/9/2025	10/10/2025	15,18	15,29	15,24	30,09	182,30	12,91	5485,26	

ROTURA				DISEÑO		ROTURA		EFICIENCIA %
EDAD (DIAS)	CARGA (KN)	RESISTENCIA (KG/CM ²)	RESISTENCIA (MPA)	%	PROMEDIO (KG/CM ²)	%	PROMEDIO (KG/CM ²)	
7	320,90	182,61	17,91	65,00	137	74,11	155,629	9,109
7	231,50	128,65	12,62					
14	263,10	148,34	14,55	90,00	189	85,36	179,258	-4,639
14	371,80	210,18	20,61					
21	182,20	118,48	11,62	95,00	200	94,49	198,422	-0,514
21	497,30	278,36	27,30					
28	473,10	266,21	26,11	100,00	210	120,95	253,987	20,946
28	432,20	241,76	23,71					

ANEXO 24.

Roturas de vigas de hormigón H210 – Ensayo de flexión.

IDENTIFICACION		FECHA DE VACIADO	FECHA DE ROTURA	ANCHO (CM)	ALTURA (CM)	LONGITUD TOTAL	AREA	DISTANCIA ENTRE CARGAS (L)	PESO (KG)
NOMBRE	N°								
H210	1	15/8/2025	22/8/2025	15,1	15,2	53,3	229,52	45,3	29
	2	15/8/2025	12/9/2025	15,4	15,2	53,5	234,08	45,5	28,82
	3	15/8/2025	12/9/2025	15,1	15,3	53,5	231,03	45,5	28,88

ROTURA			DISEÑO		ROTURA		EFICIENCIA %
EDAD (DIAS)	CARGA (KN)	RESISTENCIA (MPA)	%	PROMEDIO (MPA)	%	PROMEDIO (MPA)	
7	21,68	4,28	60	2,1	133,72	4,28	73,72
28	23,06	4,48	100	3,2	143,71	4,60	43,71
28	23,94	4,71					

ANEXO 25.

Roturas de vigas de hormigón con 0.5% de fibra de acero con gancho – Ensayo de flexión.

IDENTIFICACION		FECHA DE VACIADO	FECHA DE ROTURA	ANCHO (CM)	ALTURA (CM)	LONGITUD TOTAL	AREA	DISTANCIA ENTRE CARGAS (L)	PESO (KG)
NOMBRE	N°								
FAG 0,5%	4	28/8/2025	4/9/2025	15,3	15,2	53,8	232,56	45,8	26,78
	5	28/8/2025	25/9/2025	15,3	15,3	53,4	234,09	45,4	28,88
	6	28/8/2025	25/9/2025	15,2	15,3	53,8	232,56	45,8	28,56

ROTURA			DISEÑO		ROTURA		EFICIENCIA %
EDAD (DIAS)	CARGA (KN)	RESISTENCIA (MPA)	%	PROMEDIO (MPA)	%	PROMEDIO (MPA)	
7	24,27	4,78	60	2,1	149,37	4,78	89,37
28	30,77	5,97	100	3,2	188,70	6,04	88,70
28	31,02	6,11					

ANEXO 26.

Roturas de vigas de hormigón con 0.75% de fibras de acero ondulada – Ensayo de flexión.

IDENTIFICACION		FECHA DE VACIADO	FECHA DE ROTURA	ANCHO (CM)	ALTURA (CM)	LONGITUD TOTAL	AREA	DISTANCIA ENTRE CARGAS (L)	PESO (KG)
NOMBRE	N°								
FAG 0,75%	10	19/9/2025	26/9/2025	15,2	15,3	53,5	232,56	45,5	28,64
	11	19/9/2025	17/10/2025	15,2	15,3	53,5	232,56	45,5	28,82
	12	19/9/2025	17/10/2025	15,3	15,3	53,4	234,09	45,4	28,74

ROTURA			DISEÑO		ROTURA		EFICIENCIA %
EDAD (DIAS)	CARGA (KN)	RESISTENCIA (MPA)	%	PROMEDIO (MPA)	%	PROMEDIO (MPA)	
7	30,77	6,02	60	2,1	188,13	6,02	128,13
28	33,58	6,57	100	3,2	211,87	6,78	111,87
28	36,04	6,99					

ANEXO 27.

Roturas de vigas de hormigón con 1% de fibra de acero con gancho – Ensayo de flexión.

IDENTIFICACION		FECHA DE VACIADO	FECHA DE ROTURA	ANCHO (CM)	ALTURA (CM)	LONGITUD TOTAL	AREA	DISTANCIA ENTRE CARGAS (L)	PESO (KG)
NOMBRE	N°								
FAG 1%	7	4/9/2025	11/9/2025	15,5	15,4	53,7	238,7	45,7	28,3
	8	4/9/2025	2/10/2025	15,5	15,2	53,7	235,6	45,7	28,72
	9	4/9/2025	2/10/2025	15,3	15,5	53,6	237,15	45,6	28,64

ROTURA			DISEÑO		ROTURA		EFICIENCIA %
EDAD (DIAS)	CARGA (KN)	RESISTENCIA (MPA)	%	PROMEDIO (MPA)	%	PROMEDIO (MPA)	
7	28,88	5,53	60	2,1	172,79	5,53	112,79
28	35,55	6,90	100	3,2	211,73	6,78	111,73
28	34,61	6,65					

ANEXO 28.

Roturas de vigas de hormigón con 0.5% de fibras de acero ondulada – Ensayo de flexión.

IDENTIFICACION		FECHA DE VACIADO	FECHA DE ROTURA	ANCHO (CM)	ALTURA (CM)	LONGITUD TOTAL	AREA	DISTANCIA ENTRE CARGAS (L)	PESO (KG)
NOMBRE	N°								
FAO 0,5%	13	11/9/2025	18/9/2025	15,3	15,5	53,4	237,15	45,4	28,3
	14	11/9/2025	9/10/2025	15,5	15,4	53,4	238,7	45,4	28,9
	15	11/9/2025	9/10/2025	15,5	15,4	53,5	238,7	45,5	28,6

ROTURA			DISEÑO		ROTURA		EFICIENCIA %
EDAD (DIAS)	CARGA (KN)	RESISTENCIA (MPA)	%	PROMEDIO (MPA)	%	PROMEDIO (MPA)	
7	20,32	3,89	60	2,1	121,56	3,89	61,56
28	33,1	6,30	100	3,2	186,74	5,98	86,74
28	29,67	5,66					

ANEXO 29.

Roturas de vigas de hormigón con 0.75% de fibras de acero ondulada – Ensayo de flexión.

IDENTIFICACION		FECHA DE VACIADO	FECHA DE ROTURA	ANCHO (CM)	ALTURA (CM)	LONGITUD TOTAL	AREA	DISTANCIA ENTRE CARGAS (L)	PESO (KG)
NOMBRE	N°								
FAO 0,75%	19	17/9/2025	24/9/2025	15,2	15,3	53,6	232,56	45,6	28,86
	20	17/9/2025	15/10/2025	15,2	15,4	53,5	234,08	45,5	28,96
	21	17/9/2025	15/10/2025	15,4	15,4	53,5	237,16	45,5	28,72

ROTURA			DISEÑO		ROTURA		EFICIENCIA %
EDAD (DIAS)	CARGA (KN)	RESISTENCIA (MPA)	%	PROMEDIO (MPA)	%	PROMEDIO (MPA)	
7	29,69	5,82	60	2,1	181,92	5,82	121,92
28	36,63	7,12	100	3,2	210,87	6,75	110,87
28	33,23	6,38					

ANEXO 30.

Rotura de vigas de hormigón con 1% de fibra de acero ondulada – Ensayo de flexión.

IDENTIFICACION		FECHA DE VACIADO	FECHA DE ROTURA	ANCHO (CM)	ALTURA (CM)	LONGITUD TOTAL	AREA	DISTANCIA ENTRE CARGAS (L)	PESO (KG)
NOMBRE	N°								
FAO 1%	16	12/9/2025	19/9/2025	15,4	15,2	53,7	234,08	45,7	28,92
	17	12/9/2025	10/10/2025	15,4	15,3	53,8	235,62	45,8	28,72
	18	12/9/2025	10/10/2025	15,3	15,3	53,8	234,09	45,8	28,64

ROTURA			DISEÑO		ROTURA		EFICIENCIA %
EDAD (DIAS)	CARGA (KN)	RESISTENCIA (MPA)	%	PROMEDIO (MPA)	%	PROMEDIO (MPA)	
7	29,87	5,83	60	2,1	182,24	5,83	122,24
28	29,36	5,71	100	3,2	190,76	6,10	90,76
28	33,23	6,50					

ANEXO 31.

Rotura de cilindro de hormigón H210 – Ensayo de tracción indirecta.

IDENTIFICACION		FECHA DE VACIADO	FECHA DE ROTURA	DIAMETRO DEL CILINDRO		DIAMETRO PROMEDIO (cm)	ALTURA (L)(cm)	PESO (KG)
ID	N°			D1 (cm)	D2 (cm)			
H210	1	15/8/2025	12/9/2025	10,26	10,25	10,26	20,27	3,91
	2	15/8/2025	12/9/2025	10,16	10,24	10,20	20,45	3,88

CARGA MAXIMA APLICADA (Kn)	CARGA MAXIMA APLICADA (kg)	RESISTENCIA A TRACCION INDIRECTA (kg/cm ²)	RESISTENCIA A TRACCION INDIRECTA PROMEDIO (Kg/cm ²)	RESISTENCIA A TRACCION INDIRECTA PROMEDIO (MPA)
126,1	12858,5	39,38	40,48	3,97
133,6	13623,3	41,58		

ANEXO 32.

Rotura de cilindro con 0.5% de fibra de acero – Ensayo de tracción indirecta.

IDENTIFICACION		FECHA DE VACIADO	FECHA DE ROTURA	DIAMETRO DEL CILINDRO		DIAMETRO PROMEDIO (cm)	ALTURA (L)(cm)	PESO (KG)
ID	N°			D1 (cm)	D2 (cm)			
FAG 0,5%	1			27/8/2025	24/9/2025			
	2	27/8/2025	24/9/2025	10,26	10,27	10,27	20,36	4,00

CARGA MAXIMA APLICADA (Kn)	CARGA MAXIMA APLICADA (kg)	RESISTENCIA A TRACCION INDIRECTA (kg/cm ²)	RESISTENCIA A TRACCION INDIRECTA PROMEDIO (Kg/cm ²)	RESISTENCIA A TRACCION INDIRECTA PROMEDIO (MPA)
124,9	12736,2	38,32	42,66	4,18
151,3	15428,2	47,00		

ANEXO 33.

Roturas de cilindros de hormigon con 0.75% de fibra de acero con gancho – Ensayo de tracción indirecta.

IDENTIFICACION		FECHA DE VACIADO	FECHA DE ROTURA	DIAMETRO DEL CILINDRO		DIAMETRO PROMEDIO (cm)	ALTURA (L)(cm)	PESO (KG)
ID	N°			D1 (cm)	D2 (cm)			
FAG 0,75%	1			19/9/2025	17/10/2025			
	2	19/9/2025	17/10/2025	10,26	10,40	10,33	20,36	4,04

CARGA MAXIMA APLICADA (Kn)	CARGA MAXIMA APLICADA (kg)	RESISTENCIA A TRACCION INDIRECTA (kg/cm ²)	RESISTENCIA A TRACCION INDIRECTA PROMEDIO (Kg/cm ²)	RESISTENCIA A TRACCION INDIRECTA PROMEDIO (MPA)
137,6	14031,2	42,26	43,22	4,24
143,1	14592,1	44,17		

ANEXO 34.

Rotura de cilindro de hormigón con 1% de fibra con gancho – Ensayo de tracción indirecta.

IDENTIFICACION		FECHA DE VACIADO	FECHA DE ROTURA	DIAMETRO DEL CILINDRO		DIAMETRO PROMEDIO (cm)	ALTURA (L)(cm)	PESO (KG)
ID	N°			D1 (cm)	D2 (cm)			
FAG 1%	1	28/8/2025	25/9/2025	10,31	10,36	10,34	20,56	4,02
	2	28/8/2025	25/9/2025	10,29	10,32	10,31	20,66	3,98

CARGA MAXIMA APLICADA (Kn)	CARGA MAXIMA APLICADA (kg)	RESISTENCIA A TRACCION INDIRECTA (kg/cm ²)	RESISTENCIA A TRACCION INDIRECTA PROMEDIO (Kg/cm ²)	RESISTENCIA A TRACCION INDIRECTA PROMEDIO (MPA)
152,4	15540,4	46,56	50,98	5,00
181,7	18528,1	55,40		

ANEXO 35.

Roturas de cilindros de hormigón con 0.5% de fibra de acero ondulada – Ensayo de tracción indirecta.

IDENTIFICACION		FECHA DE VACIADO	FECHA DE ROTURA	DIAMETRO DEL CILINDRO		DIAMETRO PROMEDIO (cm)	ALTURA (L)(cm)	PESO (KG)
ID	N°			D1 (cm)	D2 (cm)			
FAO 0,5%	1	11/9/2025	9/10/2025	10,18	10,3	10,24	20,58	3,96
	2	11/9/2025	9/10/2025	10,17	10,31	10,24	20,88	4,02

CARGA MAXIMA APLICADA (Kn)	CARGA MAXIMA APLICADA (kg)	RESISTENCIA A TRACCION INDIRECTA (kg/cm ²)	RESISTENCIA A TRACCION INDIRECTA PROMEDIO (Kg/cm ²)	RESISTENCIA A TRACCION INDIRECTA PROMEDIO (MPA)
168,5	17182,1	51,91	46,66	4,58
136,4	13908,8	41,41		

ANEXO 36.

Rotura de cilindro de hormigón con 0.75% de fibra de acero ondulada – Ensayo de tracción indirecta.

IDENTIFICACION		FECHA DE VACIADO	FECHA DE ROTURA	DIAMETRO DEL CILINDRO		DIAMETRO PROMEDIO (cm)	ALTURA (L)(cm)	PESO (KG)
ID	N°			D1 (cm)	D2 (cm)			
FAO 0,75%	1	17/9/2025	15/10/2025	10,24	10,22	10,23	20,22	3,94
	2	17/9/2025	15/10/2025	10,32	10,27	10,30	20,41	4,03

CARGA MAXIMA APLICADA (Kn)	CARGA MAXIMA APLICADA (kg)	RESISTENCIA A TRACCION INDIRECTA (kg/cm ²)	RESISTENCIA A TRACCION INDIRECTA PROMEDIO (Kg/cm ²)	RESISTENCIA A TRACCION INDIRECTA PROMEDIO (MPA)
152,7	15571,0	47,92	48,94	4,80
161,7	16488,7	49,96		

ANEXO 37.

Rotura de cilindros de hormigón con 1% de fibra de acero ondulada – Ensayo de tracción indirecta.

IDENTIFICACION		FECHA DE VACIADO	FECHA DE ROTURA	DIAMETRO DEL CILINDRO		DIAMETRO PROMEDIO (cm)	ALTURA (L)(cm)	PESO (KG)
ID	N°			D1 (cm)	D2 (cm)			
FAO 1%	1	12/9/2025	10/10/2025	10,31	10,22	10,27	20,46	3,95
	2	12/9/2025	10/10/2025	10,26	10,36	10,31	20,38	3,87

CARGA MAXIMA APLICADA (Kn)	CARGA MAXIMA APLICADA (kg)	RESISTENCIA A TRACCION INDIRECTA (kg/cm ²)	RESISTENCIA A TRACCION INDIRECTA PROMEDIO (Kg/cm ²)	RESISTENCIA A TRACCION INDIRECTA PROMEDIO (MPA)
151	15397,6	46,67	52,21	5,12
186,9	19058,4	57,74		

ANEXO 38.

Elaboración de cilindros y vigas de hormigón.



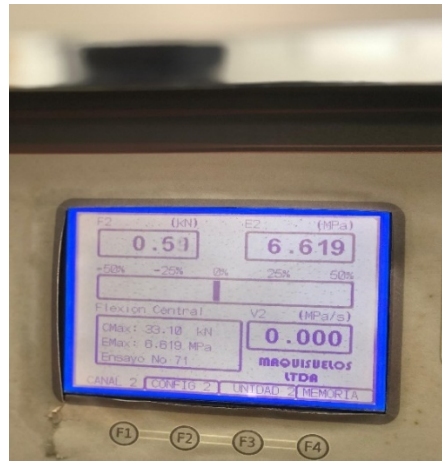
ANEXO 39.

Ensayo de compresión.



ANEXO 40.

Ensayo de flexión o Modulo de rotura



ANEXO 41.

Ensayo de tracción indirecta o método brasilero.

