



**UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA
CARRERA INGENIERÍA CIVIL**

TEMA:

**INFLUENCIA DEL USO DEL NaOH EN HORMIGONES REFORZADOS
CON FIBRA DE PAJA TOQUILLA**

TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

AUTORES:

**YAJAIRA VANESA TIXE PAREDES
SANTIAGO PAÛL SALINAS TOMALÀ**

TUTOR:

ING. DENNIS RODRIGUEZ SUÀREZ, MS.c

LA LIBERTAD, ECUADOR

2026

DEDICATORIA

El presente proyecto lo dedico a Dios, por brindarme fortaleza y sabiduría para alcanzar esta meta.

A mis padres María Paredes y Hugo Tixe a mis hermanos Sebastiaian, Samanta y Dylan por su amor, apoyo incondicional y por ser mi mayor motivación para seguir adelante.

A todas las personas que me acompañaron y creyeron en mí durante este camino, mi más sincero agradecimiento.

Yajaira Vanesa Tixe Paredes.

Dedico este trabajo de titulación en primer lugar a Dios por ser mi guía, y por darme fortaleza cada día para poder superar cada obstáculo hasta alcanzar esta meta

A mis padres, Mirian Tomalá y Fausto Salinas, con todo amor y sincera gratitud. Gracias por cada lucha y sacrificio, por las largas jornadas laborables y por renunciar, en muchas ocasiones sus sueños para ayudarme a cumplir los míos.

Santiago Paül Salinas Tomalà

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios por permitirme culminar esta importante etapa de mi vida.

A mis padres y a mi familia, por su apoyo, confianza y motivación constante.

A mi tutor, Ing. Dennis Rodríguez Suárez, M.Sc., y a la Universidad Estatal Península de Santa Elena, por su guía y formación académica.

Yajaira Vanesa Tixe Paredes.

Expreso mi más sincero agradecimiento a mis padres Mirian Tomalá y Fausto Salinas por cada esfuerzo, sacrificio y trabajo. Gracias por cada jornada de lucha, por las dificultades que enfrentaron con valentía y por todo lo que hicieron para brindarme los estudios.

A mi tía Betty, por su apoyo, sus palabras de aliento y su confianza en mí durante este proceso. Gracias por estar presente y motivarme a seguir adelante.

Santiago Paül Salinas Tomalà.

CERTIFICACIÓN DEL TUTOR

En mi calidad de Tutor del Trabajo de Titulación, modalidad Trabajo de Integración Curricular denominado “INFLUENCIA DEL USO DEL NaOH EN HORMIGONES REFORZADOS CON FIBRA DE PAJA TOQUILLA” elaborado por el Sr. SALINAS TOMALÀ SANTIAGO PAÙL, TIXE PAREDES YAJAIRA VANESA, egresado de la Carrera de Ingeniería Civil, Facultad de Ciencias de la Ingeniería de la Universidad Estatal Península de Santa Elena, previo a la obtención del título de Ingeniero/s Civil/les, me permito declarar que luego de haberla dirigido, estudiado y revisado, la apruebo en su totalidad.

TUTOR (A)

A handwritten signature in blue ink, appearing to read "Dennis Rodríguez Suarez", is written over a series of overlapping circles.

Ing. Dennis Rodríguez Suarez, MSc.

La Libertad, a los 17 del mes de Julio del año 2026

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Yo/Nosotros, **SALINAS TOMALÀ SANTIAGO PAÙL, TIXE PAREDES YAJAIRA VANESA**

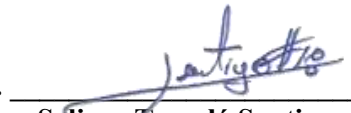
DECLARO/DECLARAMOS QUE:

El Trabajo de Titulación “INFLUENCIA DEL USO DEL NaOH EN HORMIGONES REFORZADOS CON FIBRA DE PAJA TOQUILLA” previo a la obtención del título de **Ingeniero Civil**, ha sido desarrollado respetando derechos intelectuales de terceros conforme las citas que constan en el documento, cuyas fuentes se incorporan en las referencias o bibliografías. Consecuentemente este trabajo es de mi/nuestra total autoría.

En virtud de esta declaración, me/nos responsabilizamos del contenido, veracidad y alcance del Trabajo de Titulación referido.

La Libertad, a los 17 días del mes de Julio del año 2026

EL AUTORES

f. 
Salinas Tomalá Santiago Paül

f. 
Tixe Paredes Yajaira Vanesa

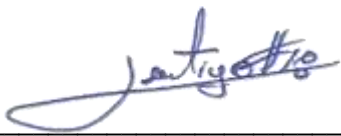
AUTORIZACIÓN

Yo/Nosotros, **SALINAS TOMALÀ SANTIAGO PAÙL, TIXE PAREDES YAJAIRA VANESA**

Autorizo/Autorizamos a la Universidad Península de Santa Elena la **publicación** en la biblioteca de la Institución del Trabajo de Titulación denominado “**INFLUENCIA DEL USO DEL NaOH EN HORMIGONES REFORZADOS CON FIBRA DE PAJA TOQUILLA**”, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi/nuestra exclusiva responsabilidad y total autoría.

La Libertad, a los 17 días del mes de Julio del año 2026

AUTORES

f. 

Salinas Tomalà Santiago Paül

f. 

Tixe Paredes Yajaira Vanesa

CERTIFICADO DE ANTIPLAGIO

En calidad de tutor del trabajo de titulación denominado **“INFLUENCIA DEL USO DEL NaOH EN HORMIGONES REFORZADOS CON FIBRA DE PAJA TOQUILLA”**, elaborado por el/la estudiante SALINAS TOMALÀ SANTIAGO PAÛL, TIXE PAREDES YAJAIRA VANESA egresado/a de la carrera de Ingeniería Civil, de la Facultad de Ciencias de la Ingeniería, de la Universidad Estatal Península de Santa Elena, previo a la obtención del título de Ingeniero/a Civil, me permito declarar que una vez analizado en el sistema antiplagio, luego de haber cumplido con los requerimientos de valoración, el presente trabajo de titulación, se encuentra con un 3% de la valoración permitida, por consiguiente se procede a emitir el siguiente certificado.

Adjunto del reporte de análisis.

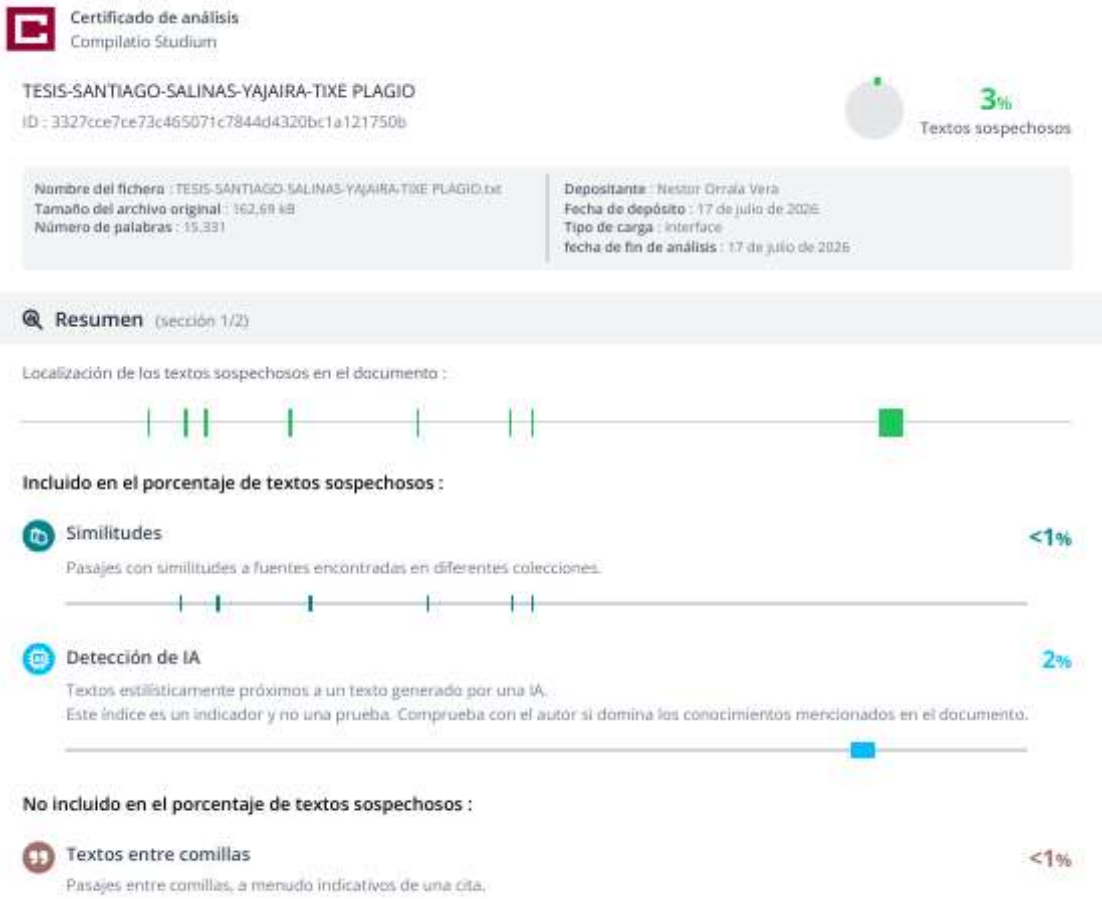
Atentamente,

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Dennis Rodríguez Suarez', is written over a circular stamp or seal.

Ing. Dennis Rodríguez Suarez, MSc.
DOCENTE TUTOR
C.I.:0913031423

La Libertad, a los 17 días del mes de Julio del año 2026

REPORTE DE ANALISIS (ANTIPLAGIO)



CERTIFICADO DE GRAMATOLOGÍA

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 Civil, denominado **"INFLUENCIA DEL USO DEL NaOH EN HORMIGONES REFORZADOS CON FIBRA DE PAJA TOQUILLA"**, de los estudiantes: **YAJAIRA VANESA TIXE PAREDES** y **SANTIAGO PAÚL SALINAS TOMALÀ**.

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, 07 de Julio del 2026


Lcda. Betty Ruth Gómez Suárez, Mgtr.
C.I. 0915636529

LICENCIADO EN CIENCIAS DE LA EDUCACIÓN
MAGÍSTER EN DISEÑO Y EVALUACIÓN DE MODELOS EDUCATIVOS
Nº DE REGISTRO DE SENECYT 1050-2014-86052892

TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN

f. 
Ing. Lúcrecia Moreno Alcivar, Ph.D.
DIRECTOR/A DE CARRERA

f. 
Ing. Alejandro C. Veliz Aguayo
DOCENTE ESPECIALISTA

f. 
Ing. Dennis Rodríguez Suarez, MSc.
DOCENTE TUTOR/A

f. 
Ing. Richard Iván Ramírez Palma, MSc.
DOCENTE GUÍA DE LA UIC

CONTENIDO

DEDICATORIA	ii
AGRADECIMIENTOS.....	iii
CERTIFICACIÓN DEL TUTOR.....	iv
DECLARACIÓN DE AUTORÍA.....	v
AUTORIZACIÓN	vi
CERTIFICADO DE ANTIPLAGIO.....	vii
REPORTE DE ANALISIS (ANTIPLAGIO).....	viii
CERTIFICADO DE GRAMATOLOGÍA.....	ix
TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN	x
CONTENIDO	xi
LISTA DE TABLAS.....	xvi
LISTA DE GRAFICOS.....	xviii
LISTA DE FIGURAS.....	xix
LISTA DE ECUACIONES	xx
RESUMEN	xxii
ABSTRACT	xxiii
CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.....	1
1.2. ANTECEDENTES.....	3
1.3. HIPÓTESIS.....	4
1.3.1. Hipótesis general.....	4
1.3.2. Hipótesis específicas	4
1.4. OBJETIVOS	5
1.4.1. Objetivo General	5
1.4.2. Objetivos Específicos.....	5
1.5. ALCANCE.....	6
1.6. VARIABLES	7
1.6.1. Variables Dependientes.....	7
1.6.2. Variables Independientes	7
CAPÍTULO 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 HORMIGÓN.....	12
2.3.1.	Comportamiento.....	13
2.3.2.	Propiedades.	18
2.4.	MÉTODO ACI 211.1	21
2.5.	FIBRAS COMO REFUERZO PARA EL HORMIGÓN.....	21
2.5.1.	Ventajas y desventajas de las fibras en el hormigón.....	22
2.6.	CLASIFICACIÓN DE FIBRAS	25
2.6.1.	Fibras naturales.	25
2.6.2.	Fibras sintéticas.....	26
2.6.3.	Fibra de vidrio.....	28
2.6.4.	Fibra de paja toquilla.....	28
2.6.5.	Propiedades físicas de la Paja Toquilla.....	32
2.6.6.	Propiedades Químicas de la Paja Toquilla.....	33
CAPÍTULO III: METODOLOGÍA		35
3.1.	TIPO DE INVESTIGACION	35
3.2.	ENFOQUE METODOLÓGICO	35
3.3.	DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN	35
3.4.	POBLACIÓN Y MUESTRA.....	36
3.4.1.	Población.....	36
3.4.2.	Muestra.....	37
3.5.	METODOLOGIA OE1: CARACTERIZACIÓN DE LA FIBRA DE PAJA TOQUILLA TRATADA CON NaOH	38
3.5.1.	Recolección de la fibra.....	39
3.5.2.	Tratamiento Químico con NaOH (hidróxido de sodio)	40
3.5.3.	Absorción.	40

3.5.4.	Ensayo para la determinación de las propiedades físicas y mecánicas.	40
3.5.5.	Tratamiento alcalino (Mercerización) de la fibra de paja toquilla.....	41
3.5.6.	Diseño Factorial 2K.	42
3.1.	METODOLOGIA OE II: DISEÑO DE MEZCLA PATRON CON FIBRAS DE PAJA TOQUILLA.....	43
3.1.1.	Procedimiento y Normas Aplicados Para los Materiales ...	43
3.1.2.	Revenimiento o Slump.....	46
3.1.3.	Diseño de mezcla.	47
3.1.4.	Resistencia requerida promedio (f'_{cr}).....	47
3.1.5.	Revenimiento.	48
3.1.6.	Tamaño máximo del agregado grueso.	48
3.1.7.	Agua de mezclado.....	49
3.1.8.	Relación agua/ cemento (a/c).	49
3.1.9.	Contenido de cemento GU.....	50
3.1.10.	Determinación del volumen del agregado grueso.	51
3.1.11.	Cálculo del peso del agregado grueso.....	52
3.1.12.	Volumen Real del Agregado Grueso.	52
3.1.13.	Volumen del Agregado Fino.....	52
3.1.14.	Peso del Agregado fino.....	53
3.1.15.	Corrección por Absorción y Humedad de los Agregados..	53
3.1.16.	Corrección por Humedad y Absorción del Agua.....	54
3.1.17.	Cálculo de Agua Efectiva.....	54
3.1.18.	Corrección de la Relación agua/cemento.....	54
3.1.19.	Diseño de Mezcla patrón + Fibra de paja toquilla para Cilindros.....	55
3.1.20.	Determinación del tiempo de fraguado por el método de Vicat.	55
3.1.21.	Determinación del contenido de aire mediante el ensayo de Olla de Washington.....	56

3.2. METODOLOGIA OE.III: ANALISIS ECONÓMICO	56
CAPÍTULO IV: ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS	58
4.1. R.O.1. CARACTERIZACIÓN DE LA FIBRA DE PAJA	
TOQUILLA TRATADA CON NaOH.....	58
4.1.1. Resultado de Ensayo Aguja de vicat.....	67
4.1.2. Resultado de Ensayo de contenido de aire- Olla de	
Washington.	68
4.2. RESULTADO D.O 2. DISEÑO DE MEZCLA PATRON Y CON	
FIBRA DE PAJA TOQUILLA.....	69
4.2.1. Diseño de la Mezcla Patrón.....	69
4.2.2. Tamaño máximo del agregado grueso.	78
4.2.3. Cálculo de agua de mezclado.....	78
4.2.4. Relación agua/ cemento (a/c).	79
4.2.5. Cálculo del contenido de cemento GU.....	80
4.2.6. Determinación del volumen del agregado grueso.....	81
4.2.7. Cálculo del peso del agregado grueso.....	81
4.2.8. Cálculo del Volumen Real del Agregado Grueso.	82
4.2.9. Cálculo del Volumen del Agregado Fino.....	82
4.2.10. Cálculo del Peso del Agregado fino.....	83
4.2.11. Pesos de Materiales Para Mezcla de Hormigón.....	83
4.2.12. Corrección por Absorción y Humedad de los Agregados..	83
4.2.13. Corrección por Humedad y Absorción del Agua.	84
4.2.14. Cálculo de Agua Efectiva.....	85
4.2.15. Pesos de Materiales Corregidos Para Mezcla de Hormigón.	
85	
4.2.16. Corrección de la Relación agua/cemento.....	86
4.2.17. Proporciones en Peso de los Agregados.....	86
4.2.18. Cantidad de Fibra de Paja Toquilla Para 1m ³ de Hormigón.	
87	
4.2.19. Resultados de resistencia a la compresión	89
4.2.20. Resultado de resistencia a flexión	96

4.3. RESULTADOS DEL OBJETIVO 3. ANALISIS ECONOMICO ..	98
CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	102
5.1. CONCLUSIONES.....	102
5.2. RECOMENDACIONES.....	103
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	105
ANEXOS	115

LISTA DE TABLAS

Tabla 1	Propiedades físicas de la paja toquilla	32
Tabla 2.	<i>Número de cilindros de hormigón- Ensayo de compresión.</i>	37
Tabla 3	Número de vigas de hormigón- Ensayo de flexión.....	38
Tabla 4.	<i>Resistencia requerida promedio.</i>	47
Tabla 5.	<i>Revenimientos recomendados para diversos tipos de construcción.</i>	48
Tabla 6.	<i>Cantidad de agua de mezclado para distintos revenimientos</i>	49
Tabla 7.	<i>Correspondencia entre la relación a/c y resistencia a compresión.</i>	49
Tabla 8.	<i>Volumen de agregado grueso para 1 m³ de hormigón.</i>	51
Tabla 9.	<i>Esfuerzos de la fibra de paja toquilla</i>	60
Tabla 10.	<i>Resumen de caracterización de fibra de paja toquilla.</i>	61
Tabla 11.	<i>Variables de diseño</i>	62
Tabla 12.	<i>Constante.</i>	62
Tabla13.	<i>Combinación de tratamiento en el diseño.</i>	63
Tabla 14.	<i>Efecto promedio.</i>	63
Tabla 15.	<i>Suma de cuadrados.</i>	64
Tabla 16.	<i>Suma de cuadrados del error.</i>	64
Tabla 17.	<i>Cuadrado medio.</i>	65
Tabla 18.	<i>Valor de P</i>	65
Tabla 19	Residuales y adecuación del modelo.....	65
Tabla20.	<i>Probabilidad normal.</i>	66
Tabla 21.	<i>Residuales contra el rendimiento predicho.</i>	66
Tabla22	<i>Ensayo aguja de vicat</i>	67
Tabla 23	Ensayo olla de Washington.....	68
Tabla 24.	<i>Granulometría de Agregado Grueso.</i>	70
Tabla 25.	Granulometría de Agregado Fino.	72
Tabla 26.	<i>Peso Volumétrico Suelto de Agregado Grueso.</i>	73
Tabla 27.	<i>Peso Volumétrico Suelto de Agregado Fino.</i>	74
Tabla 28.	<i>Peso Volumétrico Varillado de Agregado Grueso.</i>	74
Tabla 29.	<i>Densidad Saturada Superficialmente Seca de Agregado Grueso</i> <i>(D.S.S.S.)</i>	75

Tabla 30. <i>Densidad Saturada Superficialmente Seca de Agregado Fino (D.S.S.S).</i>	75
Tabla 31. <i>Porcentaje de Absorción de agregado grueso.</i>	76
Tabla 32. <i>Porcentaje de Absorción de Agregado Fino.</i>	76
Tabla 33. <i>Porcentaje de Humedad de Agregado Fino.</i>	76
Tabla 34. <i>Porcentaje de Humedad de Agregado Grueso</i>	77
Tabla 35. <i>Resumen de datos obtenidos de ensayos previo al diseño de mezcla de hormigón.</i>	77
Tabla 36. <i>Datos de interpolación obtenidos en la tabla 8.</i>	79
Tabla 37. <i>Datos de interpolación obtenidos en la tabla 10.</i>	81
Tabla 38. <i>Cantidad de mezcla en kg para 1m³ de hormigón</i>	83
Tabla 39. <i>Cantidades corregidas de mezcla en kg para 1m³ de hormigón.</i>	85
Tabla 40. <i>Proporción en peso de agregados para mezcla de hormigón</i>	86
Tabla 41. <i>Dosificación de fibra de paja toquilla para 1m³</i>	87
Tabla 42. <i>Proporciones para 1m³ de hormigón.</i>	87
Tabla 43. <i>Proporciones de materiales para cilindros pequeños de hormigón.</i>	88
Tabla 44 <i>Proporciones de materiales para vigas de hormigón.</i>	89
Tabla 45. <i>Análisis de precio unitario- Patrón $F_c = 24 \text{ Mpa}$.</i>	98
Tabla 46. <i>Análisis de precio unitario- Patrón $F_c = 24 \text{ Mpa} + 0,5\% \text{ Fibra}$.</i>	100
Tabla 47. <i>Análisis de precio unitario- Patrón $F_c = 24 \text{ Mpa} + 1\% \text{ Fibra}$.</i>	101

LISTA DE GRAFICOS

Gráfico 1. <i>Curva granulométrica del agregado grueso</i>	71
Gráfico 2. <i>Curva granulométrica del agregado fino</i>	73
Gráfico 3. <i>Curvas de resistencia a la flexión H240 + fibra de paja toquilla (0.5%, 1%, 2%)</i>	98

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Montaje de ensayo de compresión.....	14
Figura 2. <i>Tipos de fracturas según ASTM C39.</i>	15
Figura 3 Esquema de soportes con la imposición de carga en las secciones de la longitud total para establecer la capacidad de resistencia a la flexión del concreto	17

LISTA DE ECUACIONES

Ecuación 1 Ecuación del módulo de rotura.	17
Ecuación 2 Cálculo del módulo de rotura para fractura en el tercio medio de la luz.	18
Ecuación 3. Resistencia requerida a la compresión.	48
Ecuación 4. Volumen de agua de mezclado.	49
Ecuación 5. Interpolación relación a/c.	50
Ecuación 6. Contenido de cemento.	50
Ecuación 7. Volumen del cemento.	50
Ecuación 8. Volumen de agregado grueso.	52
Ecuación 9. Peso del agregado grueso.	52
Ecuación 10. Densidad del agregado grueso.	52
Ecuación 11. Volumen real del agregado grueso.	52
Ecuación 12. Volumen del agregado fino.	53
Ecuación 13. Peso del agregado fino.	53
Ecuación 14. Corrección por absorción y humedad del agregado grueso.	53
Ecuación 15. Corrección por absorción y humedad del agregado fino.	53
Ecuación 16. Corrección por humedad y absorción del agua.	54
Ecuación 17. Relación a/c corregida.	54
Ecuación 18. Cantidad de fibra de paja toquilla para 1m ³ de hormigón.	54
Ecuación 19. Volumen de agua de mezclado.	79
Ecuación 20. Interpolación relación a/c.	80
Ecuación 21. Contenido de cemento.	80
Ecuación 22. Volumen del cemento.	80
Ecuación 23. Peso del agregado grueso.	81
Ecuación 24. Densidad del agregado grueso.	82
Ecuación 25. Volumen real del agregado grueso.	82
Ecuación 26. Volumen del agregado fino.	82
Ecuación 27. Peso del agregado fino.	83
Ecuación 28. Corrección por absorción y humedad del agregado grueso.	84
Ecuación 29. Corrección por absorción y humedad del agregado fino.	84

Ecuación 30. <i>Corrección por humedad y absorción del agua.</i>	84
Ecuación 31. <i>Relación a/c corregida.</i>	86
Ecuación 32. <i>Cantidad de fibra de paja toquilla para 1m³ de hormigón.</i>	87

“INFLUENCIA DEL USO DEL NaOH EN HORMIGONES REFORZADOS CON FIBRA DE PAJA TOQUILLA”

Autor: Yajaira Vanesa Tixe Paredes

Santiago Paúl Salinas Tomalá

Tutor: ING. DENNIS RODRIGUEZ SUÀREZ, MS.c

RESUMEN

La investigación nombrada “Influencia del uso del NaOH en hormigones reforzados con fibra de paja toquilla” tuvo como propósito analizar el efecto del tratamiento alcalino en la fibra de paja toquilla en las características mecánicas, durabilidad y coste del hormigón. Se llevó a cabo utilizando un enfoque cuantitativo, con un diseño experimental que incluyó la caracterización de los materiales, el diseño de las mezclas y la producción de hormigón con diferentes proporciones de fibra, evaluando la resistencia a la compresión, la resistencia a la flexión, el tiempo de fraguado y el coste. Los hallazgos indicaron que el tratamiento de la fibra con una solución de NaOH al 1,5 %, elaborada a partir de hidróxido de sodio al 50 % de concentración comercial, incrementó la adherencia con la matriz cementicia, logrando el rendimiento óptimo con un 0,5 % de fibra en compresión y un 1 % en flexión. Se determinó que la fibra de paja toquilla tratada representa una opción técnica y ambientalmente sostenible para potenciar el rendimiento del hormigón de 24 MPa.

PALABRAS CLAVE: *Paja toquilla, hormigón reforzado, resistencia mecánica, resistencia a la compresión.*

“INFLUENCIA DEL USO DEL NaOH EN HORMIGONES REFORZADOS CON FIBRA DE PAJA TOQUILLA”

Authors: Yajaira Vanesa Tixe Paredes

Santiago Paúl Salinas Tomalá

Tutor: ING. DENNIS RODRIGUEZ SUÀREZ, MS.c

ABSTRACT

The research titled "Influence of NaOH Use on Toquilla Straw Fiber-Reinforced Concrete" aimed to analyze the effect of alkaline treatment of toquilla straw fiber on the mechanical properties, durability, and cost of the concrete. The study employed a quantitative approach and an experimental design that included material characterization, mix design, and concrete production with varying fiber proportions, while evaluating compressive strength, flexural strength, setting time, and cost. The findings indicated that treating the fiber with a 1.5% NaOH solution—prepared from a 50% commercial-grade sodium hydroxide solution—enhanced adhesion to the cementitious matrix, achieving optimal performance with 0.5% fiber content for compression and 1% for flexure. It is concluded that treated toquilla straw fiber represents a technically and environmentally sustainable option for enhancing the performance of 24 MPa concrete.

KEYWORDS: *Toquilla straw, reinforced concrete, mechanical strength, compressive strength.*

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

1.1. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

En el ámbito de la construcción, el hormigón es el material más principal e indispensable que se usa en la construcción de diferentes tipos de obra. Desde mediados del siglo XX se han venido estudiando los hormigones con fibras pero desde el año 2008 especialmente la Instrucción de Hormigón Estructural señalo que el hormigón a base de fibras presentara mayores ventajas en la resistencia a la tracción, reducción de la permeabilidad, entre otras, es por ello que con el pasar del tiempo la mayor parte ha optado por trabajar con este tipo de hormigón al igual que se ha logrado minimizar costos de operación (Mármol, 2010).

Es importante tener en cuenta que, si al hormigón armado se le agrega algún tipo de fibra, esto influirá mucho en la resistencia, de la misma manera hay que analizar que fibras naturales se va a incorporar ya que existen algunos materiales que aportan mayores ventajas que otras, así como también hay que tener en cuenta la vida útil del material para prevenir cualquier tipo de fisuración o desgaste en la estructura con el pasar de los años (Benítez, 2021).

El cemento es un material primordial en la construcción y a partir de este se generan materiales constructivos, los mismos que poseen diferentes propiedades que varían según el material de refuerzo. Los materiales que se adicionan a estos elementos mejoran las características del material, siendo esta la razón principal a lo largo de la historia, por lo cual se añadían refuerzos externos a los elementos de Hormigón, siendo los materiales compuestos de matriz cementicia los que apuntan a una mayor utilización y mejor acción compuesta por tratarse de una matriz que representa menor riesgo y mejor adherencia en este tipo de elementos.

La implementación de algún tipo de fibra al hormigón no solo se está ayudando a tener una mayor durabilidad, sino que se está ayudando a reducir el impacto ambiental ya que resulta más fácil conseguir las fibras naturales que abundan en el ecosistema. La Matriz Cementicia Reforzada con Fibras Naturales

mediante todos los estudios que ha realizado ha logrado evidenciar que la incorporación de fibras naturales en un hormigón resulta de gran ayuda, especialmente en todo lo que abarca la Ingeniería Civil específicamente en las construcciones (Benítez, 2021).

La incorporación de fibras naturales o vegetales en hormigones presentan múltiples ventajas, ya que más allá de aportar durabilidad al hormigón ayudan a reducir costos en las obras ya que al ser materiales ecológicos se los puede conseguir de manera rápida, económica y abundante, y pues de esa manera también se está ayudando al medio ambiente ya que cada vez se utilizan menos materiales sintéticos.

En tal sentido las fibras de paja toquilla se han destacado como una alternativa prometedora para el refuerzo de estructuras de hormigón. Esta planta, conocida científicamente como *Carludovica palmata*., una especie estratégica y de gran importancia cultural, económica y social crece principalmente en zonas costeras y tropicales de Ecuador, donde el clima es húmedo y cálido, con suelos bien drenados.

Bastidas & Verdezoto (2021) estudiaron en Quito el efecto que causa la “paja toquilla” en los hormigones es evidente ya que presentan múltiples beneficios, también hay que tener en cuenta que este tipo de fibras trabaja de mejor manera a flexión, en los estudios realizados se puede apreciar que la cantidad adecuada de fibras naturales que se le puede incorporar 0.2% de fibras e infiriendo, según la curva de resultados que la dosificación óptima de hormigón es de 0.17% esto no debe exceder ya que podría traer graves consecuencias.

Por otro lado, el desarrollo de la industria trae aparejado grandes desafíos como es la reducción de contaminantes. Diseñar y construir estructuras que proporcionen reducción de gastos y la mitigación de impacto medioambiental representa sin duda una problemática con grandes implicaciones para el planeta. Apremia la búsqueda de soluciones y de materiales alternativos, que constituyan una fuente de energía no agotable, o al menos con alto potencial para regenerarse,

a lo cual corresponde el uso de fibra de paja toquilla.

Cabe destacar que, pese a los resultados obtenidos en diferentes investigaciones relacionado con la temática, para algunos autores como Bernaola, (2021); Zerbino, (2020) y Geremew et al., (2021) el empleo del hormigón no convencional haciendo uso de fibras naturales puede traer incertidumbre en cuanto a resistencia, durabilidad, reducción de fisuras por retracción, así como la disposición y porcentaje óptimo a añadir a la mezcla los hormigones con fibras naturales, ya que para ellos esta técnica no asegura que el hormigón tenga una buena resistencia, así como también no consideran que solamente se incorpore un 17% de fibras naturales o vegetales al hormigón.

1.2. ANTECEDENTES

En el campo de la Ingeniería Civil, la construcción de hormigones es un tema muy conocido, de igual forma es la técnica más utilizada hoy en día en las construcciones ya que tiene un costo cómodo y su resistencia es indiscutible, se debe tener cuenta que en algunos casos los hormigones pese a su buena construcción suelen presentar ciertas fisuras o deterioro, esto a causa de acciones que provocan los mismos seres humanos y circunstancias ambientales desfavorables como incendios, sismos, tormentas y nevadas; por este motivo, la evaluación del comportamiento de la muestra y la identificación de la fractura en el hormigón a través de ensayos de laboratorio resulta crucial.

Sin embargo, la mayoría de los métodos actuales que verifican este tipo de fallas son de carácter empírico. Comúnmente, se emplea un diseño lineal, fundamentado en la observación visual, para ilustrar el patrón de fractura, así como un calibrador o regla de ancho de grieta para cuantificar la apertura de las grietas. Como consecuencia, la mayoría de las técnicas tradicionales empleadas para caracterizar y monitorear grietas continúan siendo laboriosas, aleatorias y propensas a errores humanos.

En algunos casos se presentarán ciertas grietas en los hormigones esto debido a factores externos, es por ello que cuando se logra evidenciar una grieta hay que actuar de inmediato para identificar de cuan grave es la fractura y que tamaño presenta en realidad para así proceder a repararla.

El material de edificación, conocido como hormigón reforzado con fibras, está constituido esencialmente por dos componentes distintos: el primero es el hormigón en sí, y el segundo es la fibra, que puede ser de origen sintético o natural. La combinación de ambos da lugar a un material para la construcción.

El comportamiento mecánico de los elementos del hormigón se ve afectado por las propiedades de las interfases entre los agregados y el mortero. La formación y difusión de fisuras en el hormigón pueden impactar el comportamiento general del material, ya que se optimiza con superficies de agregados que presentan mayor rugosidad.

1.3. HIPÓTESIS

1.3.1. Hipótesis general

La incorporación de fibras de paja toquilla en el hormigón con resistencia a compresión de $f'_c=24$ MPA, 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 paja toquilla.

H.E.2 La elaboración de una mezcla de hormigón de acuerdo con la norma ACI 211.1, que incluya fibra de paja toquilla permitirá obtener un hormigón con una resistencia a la compresión y flexión más alta que las mezclas

convencionales.

H.E.3 La adición de fibras de paja toquilla 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 la factibilidad técnica económica de un hormigón con resistencia de 24 MPa que incorpore fibra de paja tratada con NaOH al 50% de concentración, analizando su desempeño mecánico y su costo en comparación con un hormigón convencional de igual resistencia

1.4.2. Objetivos Específicos

O.E.1 Examinar el efecto del tratamiento químico con NaOH aplicado a la fibra de paja mediante ensayos de caracterización física, química y mecánica, con el fin de determinar su aptitud para ser incorporada en mezclas de hormigón.

O.E.2 Determinar la incidencia de la fibra de paja pretratada en las propiedades de un hormigón de 24 MPa, elaborando especímenes cilíndricos y evaluándolos bajo la norma ASTM C39 para conocer su influencia sobre la resistencia a la compresión y flexión.

O.E.3 Comparar el costo de producción de un hormigón convencional con el de un hormigón reforzado con fibra de paja, mediante un análisis de precios unitarios por metro cúbico, para establecer la diferencia económica entre ambas alternativas.

1.5. ALCANCE

El objetivo principal de este proyecto es analizar el efecto que causa al incorporar 50% de hidróxido de sodio en la paja toquilla, ya que de esa manera se lograra que la paja toquilla pueda compactar de mejor manera con las matrices cementicias. Para constatar todo esto hay que realizar ciertos análisis tanto físicos como químicos, para ver cómo actúan las fibras naturales ya tratadas en la mezcla de hormigón, esto en cuando recién se esté realizando la mezcla, es decir en crudo y una vez que este ya seca.

Para evidenciar que la paja toquilla es la mejor opción de fibra para usar en la construcción de hormigones se ha procedido a desarrollar pruebas para comprobar su resistencia, esto tomando en cuenta la compresión conforme a las normas ASTM aplicables, tales como ASTM C39 (resistencia a la compresión), ASTM C31 (preparación y curado de probetas) y ASTM C78 (resistencia a la flexión) ya que esta se basa en estudiar la mezcla con la cual se van a construir hormigones con distintos tipos de fibra. A la vez también se analiza que la fibra que se vaya a utilizar se compacte fácilmente con el material del hormigón para de esa manera asegurar una buena resistencia y ductilidad de los hormigones en las construcciones lo que permitirá comprender su efecto global en el comportamiento mecánico del hormigón y su potencial aplicación en elementos estructurales convencionales.

La iniciativa también considera un análisis económico comparativo entre el hormigón convencional y el hormigón reforzado con fibra de paja toquilla pretratada mediante un análisis de precio unitario. Para ello se determinará el precio real del hormigón tradicional y del hormigón modificado, incorporando los costos de la fibra, su pretratamiento, la dosificación requerida y cualquier variación adicional en los procesos de producción o colocación, con el fin de cuantificar la diferencia de costos generada y evaluar la factibilidad del uso de la fibra de paja toquilla pretratada como refuerzo sostenible para aplicaciones constructivas comúnmente utilizadas en el sector.

1.6. VARIABLES

1.6.1. Variables Dependientes

- Resistencia a compresión del hormigón
- Módulo de rotura del hormigón.
- Resistencia a flexión

1.6.2. Variables Independientes

- Diseño de hormigón
- Fibras de paja toquilla
- Tipo de fibra

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

2.1. HORMIGÓN

El hormigón es uno de los materiales más utilizados en la construcción está formado principalmente por cemento debido a su durabilidad, por esto se ha logrado evidenciar que su alta demanda está afectando significativamente al ecosistema ya que para la fabricación del cemento se utiliza gran cantidad de piedra caliza, la misma que en ciertas colinas se está escaseando de manera rápida Su capacidad para soportar cargas, su durabilidad y su versatilidad lo han posicionado como un componente crucial en el ámbito de la construcción (Chariguaman, 2024).

2.2. COMPONENTES DEL HORMIGÓN

2.2.1. Cemento.

El cemento esta principalmente formado por caliza y arcilla molidas respectivamente, este material tiene como característica principal que al mezclarse con agua este tiende a endurecerse rápidamente. Para formar el hormigón se suele mezclar el cemento con grava y arena, una vez mezclados homogéneamente estos materiales en cantidades adecuadas se le añade agua, esto forma una mezcla uniforme, la misma que es manejable y tiende a secarse de una manera rápida, a lo mismo que conocemos como hormigón (Garces, 2021).

A. Tipos de cementos.

La Sociedad Estadounidense para Pruebas y Materiales ha mencionado que existen varios tipos de cementos hidráulicos entre ellos tenemos al cemento

GU, HE, MS, HS, MH y LH, cada uno de estos se suelen clasificar dependiendo su resistencia, composición, etc., 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.

Es esencial para la hidratación del cemento y la formación de la pasta. La cantidad de agua utilizada afecta la trabajabilidad y la resistencia del hormigón, el agua juega un papel fundamental en la composición del hormigón ya que al mezclar el agua con cemento se forma una mezcla un poco solida esto debido a la cantidad de agua que se le agregue, es también importante recalcar que la composición del agua es importante ya que, si esta presenta mayor cantidad de algún elemento, puede llegar a alterar la mezcla del hormigón causando algún tipo de filtración en el mismo. Conforme a las especificaciones de la Norma NTE INEN 1108:(2020).

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. El hormigón está conformado en su mayoría por otros materiales, los mismo que son los que afectan directamente en la forma que va a tomar el hormigón ya sea que la mezcla vaya hacer más sólida o tenga mayor durabilidad.

Para (Parrales et al., 2023) alude que la composición correcta de agregados finos y gruesos puede mejorar la resistencia y densidad del hormigón es de acuerdo a los materiales que se agreguen al Hormigón son los correctos y en las cantidades adecuadas se conseguirá tener un hormigón con buena resistencia y durabilidad, evitando la presencia de cualquier tipo de grietas.

A. Arena.

Uno de los principales elementos del cual está formado el hormigón, es la arena siendo un elemento esencial en la composición del hormigón. Supone el 60% o más de la composición del hormigón y es necesaria para formar la pasta plástica y conseguir una mezcla homogénea con el resto de componentes del hormigón especialmente al unir a todos las gravas (áridos gruesos) en una única masa. Esta es muy importante al momento de mezclar ya, que si está en la cantidad adecuada con respecto a los demás materiales, se podrá evidenciar una consistencia y densidad adecuada ya que la arena tiene la capacidad de juntar distintos tipos de grava (BECOSAN, 2025) .

B. Fibra natural

En la actualidad, el crecimiento de los desafíos económicos, sociales y medioambientales resalta la necesidad imperativa de emplear materiales de construcción que sean tanto sostenibles como económicos. La utilización de la fibra natural ha sido una de las mejores opciones para disminuir gastos y costos en el ámbito de la construcción, ya que resulta fácil adquirir materiales del ecosistema porque resultan más económicos ya que no se utiliza personal capacitado, ni especializado para adquirir la materia prima.

Con el pasar de los años las fibras naturales han ido tomando mayor fuerza en la construcción, pese a ello hace no mucho es que han empezado a investigar más a fondo el tema de utilizar fibras naturales en la construcción de hormigones ya que también se considera como una fuente renovable, es importante recordar que

años atrás principalmente las fibras naturales se utilizaban únicamente en el área textil. La disponibilidad significativa de fibras naturales en diversos países en desarrollo las convierte en una fuente renovable constante (Juárez & Rodríguez, 2004).

“Varios estudios realizados a cerca de la adición de fibra vegetal como componente en la dosificación de hormigón concluyeron que entre el 0.5% y 0.6% es la cantidad óptima para el buen desempeño y mejora de las propiedades del hormigón” (Anthony, Awasthi, Singh, & Prasath, 2020). El uso de fibra natural para la construcción de hormigones es una alternativa muy adecuada ya que tiende a compactarse muy bien con los demás materiales y a la vez resulta económico.

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

d) Tratamiento de la fibra. NTE INEN 2874 2015-10 – Método de ensayo estándar para tratar con hidróxido de sodio la paja toquilla

C. 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. Esta está formada por residuos de roca, la misma que es muy utilizada

en la construcción de hormigón, esta ayuda a tener una mezcla más sólida y resistente, por lo que brinda una dureza significativa al hormigón.

El ACI Concrete Terminology (ACI., 2013), La grava está formada por residuos de roca que miden alrededor de 4 (4,75 mm), es importante tener en cuenta que la grava dependerá de la calidad de piedra, ya que no todas tienen la misma composición, es por ello que hay que saber con qué material se va a construir ya que así se logran tener estructuras de hormigón más resistentes y de larga durabilidad además de determinar la facilidad con la que se puede manejar la mezcla fresca y la resistencia que tendrá una vez endurecida.

Según el Servicio Ecuatoriano de Normalización y la Sociedad Estadounidense para Pruebas y Materiales la calidad del hormigón depende de la grava, granulometría, humedad, densidad y absorción del material. 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 HORMIGÓN

2.3.1. Comportamiento.

A. Compresión.

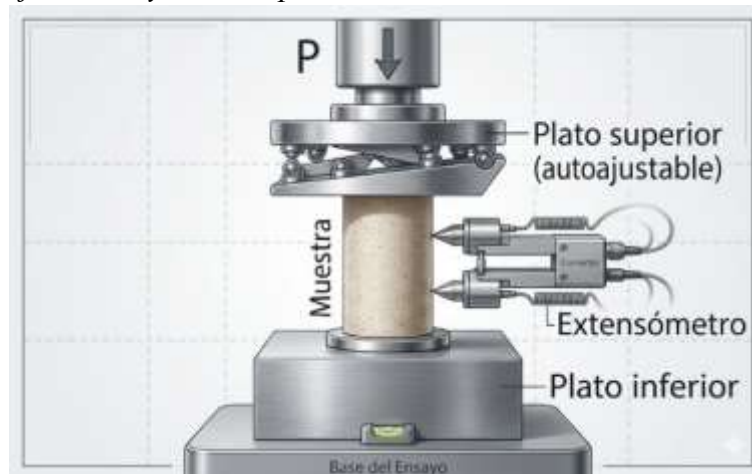
La compresión en el hormigón se relaciona con la capacidad de este material para resistir fuerzas que buscan aplastarlo, lo cual genera presiones internas de compresión. Uno de los factores que afecta directamente en la construcción de hormigones es la compresión, ya que ahí se logra medir cuanta fuerza o peso puede soportar el material al momento de comprimir las estructuras que son a base de hormigón.

Se debe tener en cuenta que el hormigón deberá soportar grandes cantidades de peso sobre su estructura, es por esto que resulta importante construirlo con materiales de buena calidad para descartar algún colapso.

La evaluación de la resistencia a la compresión consiste en determinar la capacidad que tiene un material para soportar cargas de compresión hasta alcanzar su falla. Para ello, la probeta es sometida a una carga aplicada de manera gradual y continua hasta que se produce su fractura o una deformación significativa, **como se muestra en la Figura 1**. Durante este proceso, el material experimenta una disminución de su volumen debido al esfuerzo aplicado. La resistencia a la compresión se determina matemáticamente dividiendo la carga máxima soportada por la probeta entre el área de su sección transversal en el momento de la falla.

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 JHONATAN, 2019).

León & Rodríguez (2022) describe a la capacidad de compresión es una de las principales características del hormigón ya que mediante esto se puede evidenciar la calidad del mismo, por otro lado, Parrales et al., (2023) menciona que mientras el hormigón sea de mayor calidad existirá mayor estabilidad en cualquier tipo de construcción. La compresión de cualquier tipo de hormigón hoy en día está siendo revisada por el Servicio Ecuatoriano de Normalización y la Sociedad Estadounidense para Pruebas y Materiales, 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 fracturas en Ingeniería Civil nos referimos a cuando en una obra, la estructura presenta grietas de tamaños considerables, esto ocasiona a que la estructura se divida ya sea un poco o por completo, es por ello que existen las fracturas frágiles y las fracturas dúctiles, esto dependerá mucho del material con que se haya construido la obra. La clasificación se fundamenta en la habilidad del material para sufrir deformación plástica; la fractura dúctil incluye una amplia deformación plástica y un desarrollo

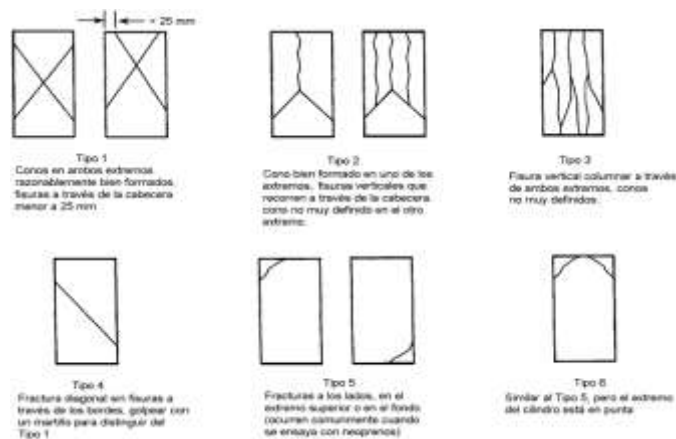
lento de la fisura, mientras que la fractura frágil ocurre con mínima o ninguna deformación plástica y se distingue por una rápida extensión.

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. Un cilindro de hormigón puede existir seis tipos de fracturas, las mismas que pueden ocasionar que dicho cilindro se rompa por completo, es por ello que cuando se evidencia una grieta hay que analizarla minuciosamente para de esa manera determinar qué tan seguros son los resultados que se obtuvieron.

Los resultados sobre compresión arrojaron seis diferentes tipos de fracturas de los cuales el tipo 1 y 4 son los que más se asemejan a una estructura adecuada esto debido a que sus fracturas son longitudinales, esto refleja que el peso ha sido distribuido uniformemente, ahora en el tipo 5 y 6 se puede evidenciar que las fisuras se encuentran en las esquinas, esto significa que el peso no es igual en toda la estructura. Es por ello que cuando se identifica alguna grieta no hay que intervenir ya que así podremos evidenciar la capacidad máxima que puede soportar el hormigón y de esa manera reforzar aún más la estructura (ver figura 2).

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 (Becerra, 2019).

B. Flexión.

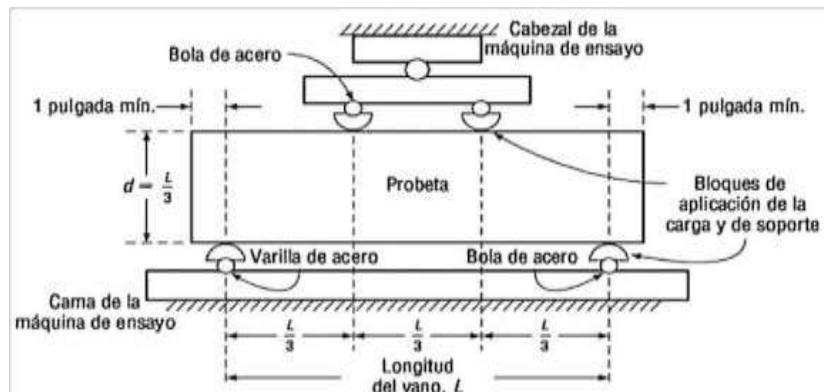
La flexión se refiere a la alteración que sufre un componente estructural al ser expuesto a una carga lateral, ocasionando que su eje se doble y generando la aparición de esfuerzos de compresión y tensión de manera simultánea en su área transversal. Dado que las construcciones de concreto son particularmente vulnerables a cargas imprevistas de naturaleza dinámica, como las que provienen de explosiones o choques, suelen presentar fallas frágiles como resultado de punzonamiento o corte.

Por ende, una estrategia eficaz para mejorar la respuesta del concreto frente a tales exigencias es incrementar la ductilidad y la capacidad de absorción de energía mediante la adición de fibras (Sanz-Díez de Ulzurrun Casals Zanuy Sánchez, 2017).

Además, el módulo de rotura del hormigón se determina mediante el ensayo de resistencia a la flexión, el cual consiste en aplicar una carga sobre una probeta simplemente apoyada hasta provocar su falla. De acuerdo con la National Ready Mixed Concrete Association (2020), en el documento CIP 16 – Resistencia a la flexión, este parámetro representa aproximadamente entre el 10 % y el 20 % de la resistencia a compresión, variando según el tipo, las dimensiones y el volumen del agregado grueso empleado. Para la ejecución del ensayo se utiliza comúnmente la norma ASTM C78, equivalente en la normativa ecuatoriana a la NTE INEN 2554, la cual establece la disposición de los apoyos y la aplicación de la carga en los tercios del vano, tal como se muestra en la Figura 3, para determinar el módulo de rotura y evaluar el comportamiento del hormigón frente a esfuerzos de flexión

Figura 3

Esquema de soportes con la imposición de carga en las secciones de la longitud total para establecer la capacidad de resistencia a la flexión del concreto



Nota: Tomado de: ASTM C78 (2009).

La capacidad de soportar la flexión se denota como coeficiente de ruptura. La ecuación que establece la ASTM C78 para estimar la resistencia a la flexión es la siguiente.

- En el caso de que la ruptura comience en la cara de tensión en el tercio central de la distancia libre, el coeficiente de ruptura se obtiene mediante la ecuación 1.

Ecuación 1

Ecuación del módulo de rotura.

Fórmula para calcular el coeficiente de ruptura cuando la fractura ocurre en el tercio central de la distancia libre.

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

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

Cálculo del módulo de rotura para fractura en el tercio medio de la luz.

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 viga, pulg, o mm.

2.3.2. Propiedades.

A. Tenacidad.

La resistencia en el hormigón simple, es decir, sin la inclusión de refuerzos, se relaciona con la capacidad restringida que posee este material para absorber energía antes de romperse. Una de las principales propiedades del hormigón es la tenacidad que va específicamente relacionada con materiales externos que brindan mayor soporte para que la estructura no se fracture de forma rápida, es importante tener en cuenta que el hormigón presenta baja resistencia ante fenómenos como por ejemplo los sismos, es por esta razón que resulta importante reforzar al hormigón con otros materiales externos.

A diferencia de los materiales con propiedades dúctiles, el Hormigón simple tiende a ser muy frágil, pese a esto este Hormigón suele tener una resistencia para soportar cualquier fuerza de compresión, la desventaja que presenta el Hormigón simple es que una vez que se empieza a agrietarse este termina deformándose por

completo, por otro lado, la incorporación de otros materiales en la mezcla de Hormigón son de gran importancia ya que ayudan a reforzar el diseño estructural y la tracción evitando que existan cualquier tipo de filtraciones o agrietamientos en la estructura.

B. Fragilidad.

La fragilidad constituye una característica mecánica del hormigón no armado suele tener mayor fragilidad ya que este no cuenta con una estructura adecuada que permita que el material se compacte de forma correcta, es por ello que en algunos casos el hormigón tiende a romperse de forma repentina.

Su limitada capacidad de deformación plástica impide que se presenten deformaciones significativas antes de la ruptura, lo que a su vez no permite una advertencia perceptible ante sobrecargas o eventos sísmicos. Cuando el hormigón suele estar bien armado evita que cuando existe exceso de peso o movimientos sísmicos, el hormigón se rompa por completo.

En algunos casos los hormigones carecen de ductilidad y este es el motivo principal por el cual la mayor parte de hormigones no puede soportar un determinado peso y tienden a destruirse rápidamente. Antes de proceder a construir cualquier tipo de hormigón hay que estudiar el suelo de la zona donde se va a construir ya que en algunos casos el suelo de la región puede presentar actividad sísmica u otros factores relacionados, en esos casos hay que reforzar aún más el hormigón ya sea incorporando paja toquilla u otro tipo de fibras ya que éstas proporcionarían mayor estabilidad y el hormigón no se agrietaría fácilmente.

C. Ductilidad.

La ductilidad alta en un hormigón simple es escasa debido a que el material le permite tolerar considerables deformaciones plásticas antes de llegar al colapso, por esta misma razón es que a la primera fisura que aparece en el hormigón, es casi

imposible detener que la grieta se vaya expandiendo.

Según Becerra (2023), señala que las estructuras que son construidas a base de hormigón simple son más probables que presenten fallas ante cualquier tipo de esfuerzos fluctuantes. En este contexto, Navarro & Bonet (2019), manifiestan que en las construcciones que se realizan en zonas sísmicas, el factor de la ductilidad es de gran importancia ya que la ductilidad ayudara a que el peso de carga se distribuya uniformemente ante la presencia de cualquier actividad sísmica, pese a ellos si existirán ciertos daños en la estructura, los mismos que deberán ser reparados si es posible.

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 paja toquilla. Es por ello que el hormigón simple ya no se utiliza mucho en la actualidad especialmente para realizar grandes estructuras, ya que no brindan la seguridad necesaria.

D. Fisuración.

El hormigón en algunos casos puede presentar grietas esto debido a factores externos como la temperatura, retracción, exceso de carga entre otras. Es por ello que cuando existe la presencia de grietas hay que repararlas lo más pronto posible ya que estas al estar expuestas permitirán que el agua se filtre causando así daños al material y a la estructura.

La fisuración afecta directamente al hormigón esto debido a la tracción, cuando empiezan a aparecer grietas en una estructura es fácil asimilar que han sido causadas por el reparto desequilibrado del peso, es por ello que resulta importante estudiar cada grieta que aparezca para saber debido a que se originó y así descartar cualquier tipo de colapso a largo o corto plazo (Isostatika, 2021).

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, la construcción de diferentes tipos de hormigones, dirigidas especialmente a las mezclas, tamaño, grosor y procedimiento que se utilizara.

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.

La metodología en la que está basada el código ACI es de gran importancia en el ámbito de construcción, especialmente en la construcción de hormigones ya que esto permite tener cantidades exactas de todos los materiales con que se construirá el hormigón dando como garantía una ductilidad y tenacidad adecuada por un largo tiempo.

2.5. FIBRAS COMO REFUERZO PARA EL HORMIGÓN

Las fibras consisten en hilos delgados y alargados. Su incorporación en las composiciones de Hormigón tiene como objetivo optimizar diversas características mecánicas y fisicoquímicas que introducir cualquier tipo de fibra a la mezcla del hormigón resultara de gran ayuda, ya que estas fibras ayudaran a que hormigón posea mayor tenacidad, ductilidad y resistencia evitando así que con el pasar del tiempo vayan a aparecer algún tipo de fisuras.

2.5.1. Ventajas y desventajas de las fibras en el hormigón.

El hormigón o Hormigón simple en su mayoría presentan ciertos problemas como la presencia de fisuras, carecen de rigidez, poca tenacidad, entre otras. Pese a todos estos factores el que afecta mayormente a los hormigones es la rigidez ya que la mayor parte de hormigones no tienen la capacidad de absorber energía y por esta misma razón es que tienden a deformarse fácilmente. A pesar de mostrar una gran resistencia a la compresión, su capacidad para absorber energía o deformarse sin romperse es sumamente limitada.

El hormigón reforzado con fibras se presenta como una solución efectiva ante los problemas anteriormente mencionados, introduciendo elementos fibrosos que actúan como puentes de transferencia para resistir las tensiones generadas dentro de la matriz de cemento. Es por esta razón que se ha optado por introducir fibras dentro del hormigón, ya que la presencia de fibras en el Hormigón ayuda a disminuir la fragilidad, aumentar la ductilidad y tenacidad, evitando así cualquier tipo de fisuración o desgaste en la estructura, es por ello que se ha optado por utilizar fibras de paja toquilla ya que estas ayudan a reforzar el hormigón de una manera sorprendente.

A. Ventajas.

La inclusión de fibras orgánicas como la paja toquilla en compuestos de Hormigón ha generado un notable interés en el ámbito de construcción, la introducción de fibras de paja toquilla ha ido tomando mayor fuerza es los últimos

años ya que la mayoría de constructoras ha optado en trabajar con esta técnica ya que trae consigo múltiples beneficios el más importante es que ayudan a reforzar al hormigón de manera considerable, teniendo en cuenta que también ayuda a reducir costos de operación.

Según Bastidas & Verdezoto (2021), la incorporación las fibras de paja toquilla son de gran utilidad dentro de los hormigones ya que estas ayudan a que el cemento se compacte de mejor manera con el resto de materiales evitando así la presencia de fisuras cuando el hormigón este expuesto a sobrecarga de peso. Estas fibras facilitan la distribución de las tensiones internas y disminuyen la propagación de microfisuras durante el proceso de curado y bajo la influencia de cargas externas.

Se han realizado varias investigaciones donde se ha demostrado que las fibras naturales o vegetales efectivamente aportan múltiples beneficios en la construcción de hormigones, ya que estas ayudan específicamente a prevenir cualquier tipo de fisura y así mismo se compactan fácilmente con los demás materiales. Adicionalmente, debido a su baja densidad, las fibras vegetales permiten la creación de mezclas más ligeras en comparación con los hormigones tradicionales.

Un aspecto importante es el impacto ambiental positivo relacionado con la utilización de materiales naturales, biodegradables y sostenibles. La paja toquilla se presenta como una alternativa sostenible frente al incorporar fibras sintéticas en el ámbito de la construcción aparte de estar utilizando recursos naturales renovables se está ayudando a reducir el impacto ambiental, ya que estas fibras naturales que son más accesibles están siendo reemplazadas por las fibras sintéticas.

En lo que respecta a propiedades térmicas y acústicas, las fibras naturales traen consigo varias ventajas, una de ellas es que éstas logran compactarse de una manera fácil y rápida con los demás materiales de construcción ayudando así que la mezcla se distribuya más uniformemente.

Según los autores mencionados, las principales ventajas de la paja toquilla en el Hormigón son las siguientes:

- Reducción de fisuración
- Mejora de resistencia a flexión
- Incremento de ductilidad y tenacidad
- Disminución del peso del hormigón
- Mejor aislamiento térmico y acústico
- Aprovechamiento de recursos locales
- Contribución a la construcción sostenible
- Mejor comportamiento post-fisuración
- Potencial reducción del impacto ambiental

B. Desventajas.

La incorporación de fibras de paja toquilla en la construcción de hormigones también traen consigo múltiples desventajas esto enfocado principalmente en su tratamiento, ya que si estas fibras no están tratadas de manera adecuada con el pasar del tiempo tienden a deteriorarse dejando espacios huecos en la construcción.

Uno de los principales inconvenientes es la reducción de la trabajabilidad del hormigón fresco. Al momento de incorporar las fibras naturales a una mezcla hay que ser cuidadosos en cuanto a las cantidades que se vaya a agregar ya que, si la cantidad excede, resultará difícil manejar y moldear la mezcla, esta no logrará adherirse de manera correcta y se tendrá que utilizar algún tipo de sustancias químicas.

Es importante recordar que la paja toquilla al ser una fibra natural, esta suele consumir ciertas cantidades de agua, este proceso puede llegar a afectar al momento de realizar la mezcla ya que, si no se balancea la cantidad de material con la cantidad de agua, la mezcla quedara muy sólida.

Otro aspecto importante es la dificultad para lograr una distribución homogénea

de las fibras dentro de la matriz cementicia, si no se logra tener una mezcla adecuada al incorporar las fibras naturales, al momento de aplicar la mezcla sobre una superficie esta no lograra distribuirse uniformemente, lo cual provocara la existencia de apelmazamientos.

El ambiente donde se vaya a llevar a cabo la construcción es también uno de los factores principales, es por ello que hay que saber con qué tipo de fibras se van a construir los hormigones ya que en ambientes que son más húmedos algunas fibras tienden a degradarse más pronto debido a la presencia de humedad, de igual manera si se sobrepasa de la cantidad que hay que incorporar de fibra, el hormigón podría presentar problemas de espacios huecos ocasionando graves fisuras.

De acuerdo con los autores consultados, las principales desventajas de la paja toquilla en el hormigón son las siguientes:

- Reducción de trabajabilidad
- Mayor absorción de agua
- Dificultades en la distribución homogénea de fibras
- Posible formación de vacíos en la mezcla
- Variabilidad en propiedades mecánicas
- Disminución de resistencia a compresión en altas dosificaciones
- Menor durabilidad frente a humedad y agentes biológicos
- Riesgo de degradación de las fibras naturales
- Necesidad de tratamientos previos de la fibra
- Mayor control técnico durante el mezclado y curado

2.6. CLASIFICACIÓN DE FIBRAS

2.6.1. Fibras naturales.

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

plátano, paja toquilla.

A. 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 grietas. Estas prácticas, que datan aproximadamente del 2500 a.C., han perdurado por siglos. De hecho, en Europa se utilizaron hasta comienzos del siglo XX. Desde hace muchos años atrás ya se ha venido utilizando la incorporación de fibras naturales o vegetales para la construcción de hormigones, en las civilizaciones antiguas se utilizaban las fibras naturales específicamente para prevenir la aparición de grietas, en Europa esta técnica ha sido utilizada por muchos más años es por ello que ahí hasta la actualidad existen construcciones muy antiguas.

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.

A. Antecedentes históricos.

El uso de las fibras sintéticas en la construcción de hormigones se ha venido utilizando desde 1960, las primeras fibras sintéticas que se utilizaron fueron las fibras de monofilamento, estas presentaban una resistencia extraordinaria esto debido a su longitud y composición, en algunos casos el uso de estas fibras era mínimo, pero pese a ello ayudaban a que el hormigón tenga mayor resistencia y ductilidad. 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.

B. Tipos de fibras sintéticas

El ACI 544 manifiesta que en su mayor parte las fibras sintéticas están formadas por polímeros orgánicos, las mismas que principalmente se suelen usar en el área de construcción, existen varios tipos de fibras sintéticas adaptadas a distintas aplicaciones. Estas fibras han sido evaluadas principalmente en matrices de hormigón de cemento Portland, destacando entre ellas las siguientes:

Acrílicas. Las fibras acrílicas estas compuestas básicamente por poliacrilonitrilo y son usadas para evitar fisuraciones.

- a) **Aramidas.** Las fibras aramidadas se forman a partir de ciertos polímeros, su característica principal es la resistencia a la tracción, por esta razón estas fibras son utilizadas principalmente para compactar con materiales livianos, pese a ello estas pueden soportar ciertas cantidades de peso.
- b) **Carbono.** Las fibras de carbono se forman a partir de carbono por lo cual poseen una gran elasticidad y resistencia, es por ello que estas fibras son mayormente usadas en estructuras donde se necesita que tengan mayor rigidez.
- c) **Nylon.** Las fibras de nilón están conformadas por poliamidas, estas suelen ser utilizadas en estructuras que necesitan tenacidad y elongación.
- d) **Poliéster.** Las fibras de poliéster están compuestas por fibras de etileno, estas se usan principalmente en estructuras que requieren de mucha resistencia.
- e) **Polietileno.** Las fibras de polietileno se caracterizan por tener alta resistencia química.

- f) **Polipropileno.** Las fibras de polipropileno son principalmente las más usadas en estructuras de hormigón para prevenir cualquier tipo de fisura y son las más económicas debido a su ligereza.

2.6.3. Fibra de vidrio.

Las fibras de vidrio están compuestas básicamente por pequeños filamentos de vidrio tratados térmicamente y cortados en formas específicas para mejorar su anclaje dentro de matrices cementicias, la principal característica que estas fibras presentan es que tienen una buena resistencia a la tracción, lo cual evita que existan algún tipo de grietas en el hormigón y si las hay, estas no sean de tamaños considerables.

A. Antecedentes históricos.

Las fibras de vidrio se han venido usando desde 1950 esto en vista que vieron la necesidad de buscar materiales que aporten mayor resistencia a las estructuras, para empezar a incorporar fibras de vidrio al hormigón primero realizaron un estudio para verificar cuan eficiente resulta esta mezcla, es ahí cuando se logra evidenciar que la mezcla de estas fibras con el cemento Portland no es adecuada ya que los químicos que presentaba ese tipo de cemento hacían que las fibras de vidrio se degraden rápidamente. Mas adelante en 1960 se decide que para la fabricación de fibras de vidrio hay que incorporar el óxido de cianuro, obteniendo así unas fibras más resistentes ante la presencia de cualquier tipo de cemento, desde ahí se opta por trabajar con este tipo de fibras especialmente en obras arquitectónicas debido a su peso reducido.

2.6.4. Fibra de paja toquilla.

La arquitectura vernácula se caracteriza por el uso de materiales del entorno circundante en la construcción de viviendas. En el oriente ecuatoriano, la paja

toquilla conocida también como lizán, se suele utilizar principalmente en las comunidades indígenas de la Amazonia Ecuatoriana para la construcción del techo de las viviendas esto a base de sus hojas, estas hojas ayudan a evitar la filtración del agua hacia el interior de la vivienda cuando existe presencia de lluvia, también actúa como un aislante ante la humedad, el frío y calor que existe en esa zona, es importante tener en cuenta que la durabilidad que tendrá la construcción dependerá básicamente de la calidad de la paja y su armado (Maldonado, 2023).

A. Carludovica Palmata (paja toquilla)

La paja toquilla es nativa de la costa ecuatoriana, procedente de la provincia de Manabí. Ecuador fue el primero en industrializarla a través de los sombreros y la elaboración de objetos artesanales decorativos y de uso cotidiano. (Aguilar, 2009). El nombre botánico de la Carludovica Palmata es otorgado en honor al rey Carlos IV de España y por su esposa Ludovica.

B. Taxonomía fibra paja toquilla.

De acuerdo con la clasificación taxonómica de Carludovica Palmata, la paja toquilla se clasifica de la siguiente manera.

- Nombre científico: Carludovica Palmata
- Nombre común: Paja toquilla (Jipijapa, Panama, Toquilla, Palma de iraca)
- Género: Carludovica
- Reino: Plantae
- Especie: Carludovica palmata
- Clase: Liliopsida,
- Subclase: Liliidae
- Familia: Cyclanthaceae
- Orden: Pandanales
- Lugar: Ecuador, provincia de Manabí.

C. Extracción y preparación de la Paja Toquilla

D. Descripción de la planta

- **Reproducción:** La paja toquilla se reproduce básicamente por medio de brotes provenientes de sus tallos, por lo general se tarda tres años para ser cosechada (Palacios et al, 2016a, pp. 1317-139).
- **Tipo de planta:** La paja toquilla es similar a la palma, ambas son plantas herbáceas, pese a ello tienen distinta composición (Palacios et al, 2016a, pp. 1317-139).
- **Altura:** mide alrededor de 2 a 5 m gracias al largo tallo o vena (pecíolo) de las hojas.
- **Hojas:** La parte más utilizada de la paja toquilla son sus hojas, éstas tienen un color verde, debido a que son muy largas son utilizadas en ocasiones para la construcción de techos de las viviendas, mientras que el raquis es utilizado para la fabricación de artesanías (Palacios et al, 2016a, pp. 1317-139).
- **Semillas:** La paja toquilla tiende a tener en su interior sus propias semillas, estas no son fáciles de germinar ya que las semillas están recubiertas por varias capas (Palacios et al, 2016a, pp. 1317-139).
- **Flores:** Tormo manifiesta que las flores de la paja toquilla son extremadamente grandes y poseen una forma cilíndrica. Al estar unisexuales suelen ser polinizadas entre sí, por lo general por cada flor hembra existirán al menos cuatro flores masculinas (Tormo, 2021).
- **Raíces:** La paja toquilla suele tener raíces abundantes, no tan profundas, esto dependerá básicamente del suelo en el que se encuentre sentada alcanza una profundidad entre 40 a 50 cm (Aguilar, 2009).
- **Lugares de plantación:** La toquilla crece en bosques húmedos de Ecuador de la región costa y Amazonia, entre 0 y 1300 msnm. Los lugares en donde se puede encontrar plantaciones en la provincia de Manabí son El Aromo, Pile, San Lorenzo y Jipijapa.

- **Utilidad:** Palacios señala que la paja toquilla se utiliza en muchos ámbitos, especialmente en la fabricación textil, artesanías, construcción de estructuras e incluso en algunos casos se utiliza como una fuente de alimento (Palacios et al, 2016g, pp. 137-139).

E. Cultivo

Para cultivar la paja toquilla se recomienda hacerlo en un terreno limpio, es decir libre de malezas. De la misma manera para proceder a sembrar la paja toquilla hay que tener en cuenta la distancia y a la profundidad donde se colocará cada una de ellas, Las cepas están ubicadas en hileras de cuatro varas, tanto de largo como de ancho (885 plantas por hectárea aproximadamente) y a 25 cm de profundidad. Al dejar ese espacio permitirá obtener cepas para la resiembra en caso de existir alguna pérdida (Palacios, 2016). manifiesta que el clima y la calidad del suelo serán un factor importante ya que esto influirá mucho en el tiempo que demore la planta en desarrollarse las condiciones climáticas y de los nutrientes de la tierra, si estas son buenas el producto tardará dos años aproximadamente en producirse, en cambio, si es malo el tiempo de cosechar, será de cuatro años (Cárdenas, 2016).

F. Cosecha

Al obtener la primera cosecha la planta se extiende, el personal que esté a cargo de la cosecha de la paja toquilla deberá tener conocimiento del periodo en que esta planta se va desarrollando ya que se deberán realizar cortes con machete sin dañar la planta cada cierto tiempo, de igual manera en este tipo de cultivo se suele utilizar el calendario lunar para saber en qué fecha resulta más conveniente cultivar, sin embargo (Agilar de Tamariz, 2009); citado en (Cárdenas, 2016). que cada vez que se realice un corte este deberá ser realizado a una distancia específica para que el proceso de secado sea más rápido, pero dichos cortes se ejecutan con un machete común, cuidadosamente sin dañar a la planta. Al hacerse el corte, este debe conservar una porción de 10 a 15 cm del tallo con el objetivo que el proceso de blanqueado y secado sea fácil (Cárdenas, 2016).

G. Transporte

Transportar la paja toquilla es una tarea no tan complicada, ya que una vez que se termina de cosechar, los mismos trabajadores son los encargados de llevarla hasta su lugar de destino, en algunas ocasiones se ayudan de mulas, mientras que Palacios manifiesta que la mayor parte de cargamento de paja toquilla va a parar en manos de artesanos, es importante recordar que la distancia a la que hay que entregar el cargamento influye mucho al momento de vender la paja toquilla ya que estas se cultivan en lugares muy lejanos de la ciudad. (Palacios, 2016). Las plantas recogidas tienen como destino los lugares que producen las artesanías; la gran distancia entre los campos de cultivo y estos sitios contribuye a que la toquilla adquiera un gran valor desde el instante en que se cosecha.

2.6.5. Propiedades físicas de la Paja Toquilla

Según Chalén (2018), la paja toquilla presenta múltiples propiedades físicas, las mismas que dependerán de la estructura y calidad de la hoja, ya que en la parte intermedia es donde existe mayor fuerza, mientras que la parte superior tiende a ser frágil por que suele romperse fácilmente.

Las pruebas físicas realizadas en el laboratorio de suelos, hormigón y asfalto, de la Universidad Estatal Península de Santa Elena. En la tabla 1 se muestran los resultados obtenidos.

Tabla 1

Propiedades físicas de la paja toquilla

Propiedades Físicas de la Paja Toquilla				
	Carga Máxima (N)	Longitud de la fibra (mm)	Área	Esfuerzo
Mínimo	50,3	5	0,43571943	115,441261
Promedio	97,3	5	0,40480063	240,365239
Máximo	171,7	5	0,66530786	258,076013

Fuente: Elaboración propia (2026)

2.6.6. Propiedades Químicas de la Paja Toquilla

Chalén (2018), manifiesta que las propiedades químicas que presenta la paja toquilla en base a las normas de la Asociación Técnica de Industrias de la Celulosa y el Papel suelen arrojar resultados relacionados a la cantidad de humedad que esta presenta de acuerdo a las normas que internacionalmente se utilizan para los controles de calidad en lo referente a papel, fibras naturales, etc.

A. Tratamiento de la fibra

La Carludovica Palmata (paja toquilla) es la materia prima utilizada principalmente para la elaboración de sombreros y diversas artesanías antes de su uso, debe pasar por varios procesos de tratamiento que requieren un tiempo considerable. A continuación, se describen las principales etapas de este proceso.

- **Desprender:** consiste en separar los pliegos laterales (coloración verde oscuro) y las nervaduras externas del cogollo, a través de una pequeña herramienta llamada picadora, la cual tiene dos agujas que se encuentra separadas 2 cm entre sí.
- **Desvenar:** En el proceso a realizar en el de desvenar, esto consiste en rasgar toda la vena formando así fibras finas y largas. El tiempo que se emplea en este proceso dependerá únicamente de la habilidad que tenga el trabajador por lo general esto se demora alrededor de 45 minutos, en algunos casos se suele utilizar algún tipo de herramienta para que el proceso sea más rápido.

- **Armar:** Se agrupan pesetas en cantidades de 28 cogollos, con un largo de 15 cm. Este proceso se lo realiza para realizar el cocinado.
- **Cocinar:** Para proceder a cocinar la fibra se debe sumergir los bultos antes realizados en agua hervida durante diez minutos.
- **Ecurrir y secar:** Una vez cocinada la fibra se procede a escurrir el exceso de agua, posteriormente se tiende a sacudir y colocar en cordeles para que se seque, una vez seca las hebras se separan fácilmente.
- **Blanquear:** En el proceso de blanqueamiento hay que colocar la fibra dentro de cajas con azufre y dejarlas actuar durante diez minutos.
- **Seleccionar:** Po último, es necesario seleccionar la fibra en base a lo que se vaya a realizar (Palacios, 2016).

CAPÍTULO III: METODOLOGÍA

3.1. TIPO DE INVESTIGACION

La investigación experimental fue realizada conforme a las normativas internacionales más comunes empleadas en la fabricación de hormigón. Estas incluyen las pautas del ACI American Concrete Institute, ASTM American Society for Testing and Materials y NTE INEN Norma Técnica Ecuatoriana. Dichas normativas sirvieron como marco para llevar a cabo todos los ensayos requeridos sobre los distintos componentes que se utilizaron en el estudio. por lo cual se puede interpretar que las directrices que se han utilizado en el desarrollo de este estudio están completamente avaladas. Es así que se ha optado por incluir en esta investigación las fibras naturales a base de paja toquillas siendo antes tratadas con hidróxido de carbono en la construcción de hormigones. El hormigón en cuestión incorpora fibras vegetales, específicamente paja toquilla tratada con NaOH, como parte de su formulación. Los materiales utilizados fueron: el aglutinante (cemento Portland tipo I), el agregado grueso (piedra 3/4), el agregado fino (arena gruesa) y la fibra natural (paja toquilla),

3.2. ENFOQUE METODOLÓGICO

El estudio tuvo un enfoque cuantitativo, el mismo que es el más utilizado cuando se refiere al ámbito de construcción ya que aquí se analizan datos numéricos esto relacionado a la cantidad de Hormigón, materiales y fibra de paja toquilla que se va a utilizar en la construcción de hormigones, de la misma manera se han analizado tanto las propiedades físicas como químicas de la fibra que se va a utilizar.

3.3. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

El diseño de esta investigación que se ha tomado en cuenta para esto es el de tipo comparativo, ya que como su nombre indica aquí vamos a comparar

diferentes mezclas de Hormigón, las mismas que van a estar compuestas por fibras de paja toquilla con cantidades en un rango de 0.5%, 1%, 2%, 3%, 4% con respecto al volumen del Hormigón respectivamente. Cada muestra que se vaya a realizar será primero evaluada por los estándares de las normas de American Society for Testing and Materials y la Norma Técnica Ecuatoriana lo cual garantizará resultados verídicamente reales, sin margen de error. En cada muestra que se vaya a tomar se analizará principalmente la resistencia a compresión que cada una de estas presenten, este análisis no solo permitirá mejorar la ductilidad del material, sino al contrario también permitirá diseñar estructuras que cuenten con mayor resistencia. Para finalizar diremos que al concluir esta investigación se obtendrán las cantidades reales e ideales de fibra que se necesitará para la construcción de cualquier tipo de superficies, Por último, se establecerá la proporción ideal de fibra que optimiza las características mecánicas, proporcionando así una mayor confianza y seguridad para su utilización en proyectos de construcción futuros, tales como superficies de pavimentos, componentes estructurales y procesos de restauración.

3.4. POBLACIÓN Y MUESTRA

3.4.1. Población.

La población en esta investigación está conformada por el conjunto de todas las mezclas de hormigón con una resistencia característica de $f'_c = 24$ Mpa elaboradas con diferentes porcentajes de fibra de paja toquilla juntas en diferentes proporciones y condiciones de curado que se puedan formar utilizando la fibra natural de paja toquilla en diferentes porciones respectivamente, para ello la fibra deberá cumplir con ciertos parámetros, entre ellos se encuentran el tamaño de la fibra, diámetro, punto de equilibrio entre agua y cemento, es así que se podrá optar por elegir la mejor opción y la que más favorezca a la compresión del hormigón. Cumpliendo con los requisitos de inclusión tales como el diámetro, el tamaño de la fibra de 3 cm, los procesos de curado y una dosificación controlada que establezca

la relación agua-cemento que satisfagan las especificaciones de trabajabilidad, se podrá examinar las mejores combinaciones en cuanto a compresión.

Desde el punto de vista técnico, la población comprende todas las dosificaciones estándar de hormigón a $f'c = 24$ Mpa, que pueden contener desde el 0% hasta porcentajes máximos recomendados de fibra de paja toquilla de distintos tipos de mezcla, cada una contendrá una cantidad específica de fibra de paja toquilla la cual ira en un rango de 0.5%, 1%, 2%, 3%, 4% en volumen, estas cantidades específicas nos ayudaran a comprobar la cantidad de residencia que cada muestra posee, hay que tener en cuenta que, si se usa adecuadamente más cantidad de fibra, la muestra tendera a ser más resistente y viceversa.

3.4.2. Muestra.

Para tomar como muestra se ha optado por utilizar cilindros de hormigón cilíndricos, los mismo que deberán ser pasados por diferentes pruebas de laboratorio, para ello hay que tener en cuenta que el laboratorio donde se vayan a analizar dichas muestras este en la disponibilidad de realizarlo ya que este análisis se desarrolla por un largo tiempo, así como la opción de repetir las pruebas para alcanzar un equilibrio que posibilite conclusiones válidas y representativas.

Para la evaluación del comportamiento mecánico del hormigón se contempló la ejecución de un total de 54 ensayos de compresión a edades correspondientes de 7, 14 y 28 días de curado (ver tabla 2), 12 ensayos de flexión a edades de 7 y 28 días (ver tabla 3).

Cantidad total de probetas cilíndricas ensayadas a compresión:

Tabla 2.

Número de cilindros de hormigón- Ensayo de compresión.

DISEÑO DE HORMIGÓN	PERIODO DE CURADO		
	7	14	28
	DIAS	DIAS	DIAS
Hormigón patrón	3	3	3
H240 + 0.5% fibra de paja toquilla	3	3	3
H240 + 1% fibra de paja toquilla	3	3	3
H240 + 2% fibra de paja toquilla	3	3	3
H240 + 3% fibra de paja toquilla	3	3	3
H240 + 4% fibra de paja toquilla	3	3	3
Total, por edad de curado	18	18	18
Total, general de especímenes	54		

Fuente: Elaboración propia (2026)

Tabla 3

Número de vigas de hormigón- Ensayo de flexión.

DISEÑO DE HORMIGÓN	PERIODO DE CURADO	
	7	28
	DIAS	DIAS
H240	1	2
H240 + 0.5% fibra de paja toquilla	1	2
H240 + 1% fibra de paja toquilla	1	2
H240 + 2% fibra de paja toquilla	1	2
Total, por edad de curado	4	8
Total, general de especímenes	12	

Fuente: Elaboración propia (2026)

3.5. METODOLOGIA OE1: CARACTERIZACIÓN DE LA FIBRA DE PAJA TOQUILLA TRATADA CON NaOH

Para llevar a cabo el análisis de cómo actúa la fibra de paja toquilla ante la

presencia de hidróxido de sodio (NaOH) 50% de concentración, se ha tomado en cuenta las características y propiedades que tiene la fibra de paja toquilla antes, durante y después de mezclar con el hidróxido de sodio, ya que las fibras suelen cambiar su estructura molecular ante la presencia de un compuesto químico lo que llevó a cabo una caracterización física, química y mecánica antes y después de la aplicación del tratamiento alcalino. Este procedimiento facilitó la identificación de las alteraciones generadas en la estructura de la fibra, así como las variaciones en sus características superficiales y de absorción, aspectos que afectan directamente la adhesión con la matriz de cemento.

La caracterización de la fibra es una fase esencial de la investigación, dado que las fibras naturales contienen componentes como lignina, hemicelulosa, ceras y otras sustancias en la superficie que pueden influir en su rendimiento al ser integradas en materiales compuestos. Por esta causa, se realizó un tratamiento alcalino con NaOH con el objetivo de mejorar las propiedades superficiales de la fibra y potenciar su interacción con el Hormigón. Estudiar a fondo la fibra de paja toquilla es de vital importancia ya que esta fibra al no ser tratada con ningún compuesto químico, no llegan a compactarse correctamente con los demás materiales esto debido a las propiedades que posee, es por ello que se ha optado en tratar la fibra de paja toquilla con el hidróxido de sodio ya que este compuesto ayuda a mejorar las propiedades.

3.5.1. Recolección de la fibra

Para la toma de muestra y procesamiento de las fibras Es importante tener en cuenta cómo se realiza la toma de muestra y el procesamiento para llevarla al tamaño adecuado que permita su inclusión en la mezcla de hormigón, que, en este caso, todo se realiza de forma manual. Luego de cortados se deben almacenar de forma que no pierdan propiedades, para posterior ente realizar los ensayos correspondientes que permitan definir sus propiedades físicas – mecánicas finales.

3.5.2. Tratamiento Químico con NaOH (hidróxido de sodio)

Para tratar químicamente a la fibra natural con NaOH, se usaron diferentes temperaturas y porcentajes, se usó primeramente una solución al 50% de concentración de NaOH esto se utilizó agua destilada como solvente con las cantidades calculadas con los porcentajes, teniendo en cuenta que es una sustancia corrosiva se debe usar guantes de nitrilo para su manipulación, equipos y herramientas que no sean de metal. A la fibra de paja toquilla se le añadió una cierta cantidad de hidróxido de sodio conjuntamente con agua destilada, este estudio se llevará a cabo exponiendo a la fibra de paja toquilla a temperaturas diferentes para ver como sus propiedades van cambiando y determinar cuál de ellas posee mayores beneficios.

3.5.3. Absorción.

Este ensayo se realizó con la finalidad de determinar el porcentaje de absorción de agua de la fibra natural de paja toquilla, dado que el volumen de agua presente en el hormigón es crucial para establecer su resistencia a la tensión. El propósito de este ensayo es ajustar la cantidad de agua en la mezcla para prevenir que la fibra absorba el agua esencial para el cemento. El objetivo principal de este ensayo es determinar el porcentaje de agua que ha absorbido la fibra natural de paja toquilla.

3.5.4. Ensayo para la determinación de las propiedades físicas y mecánicas.

Para este ensayo se utilizó las fibras de 7 cm de longitud y el propósito del ensayo fue calcular la diferencia de las características físicas y mecánicas de las fibras tratadas con NaOH y sin tratar, por lo que se usó 36 fibras tratadas y 27 fibras sin tratar.

Las propiedades para determinar son la fuerza de rotura, elongación, densidad lineal y la tenacidad según la norma (ASTM D 2256) con una rapidez de ensayo de 3mm/min.

3.5.5. Tratamiento alcalino (Mercerización) de la fibra de paja toquilla.

Hemicelulosa

Se aplicó un tratamiento alcalino a las fibras de paja toquilla con el objetivo de eliminar parcialmente la hemicelulosa, la lignina, las ceras y otras impurezas superficiales. La solución de tratamiento se preparó utilizando 465 g de agua y 35 g de hidróxido de sodio (NaOH) al 50 %, y posteriormente se llevó a ebullición. En esta solución se introdujeron tres muestras de fibra de 1 g cada una, las cuales permanecieron en tratamiento durante 35 minutos. Finalizado el proceso, las fibras fueron lavadas con abundante agua hasta eliminar completamente los residuos del reactivo y, posteriormente, se secaron en un horno a 65 °C para acondicionarlas antes de su utilización en los ensayos posteriores.

Lignina

Después de haber realizado los procedimientos previos para la extracción de hemicelulosa y una vez obtenidas las muestras secas, se procedió a su pesaje. La solución preparada fue distribuida en tubos de ensayo. Se trabajó con tres muestras, cada una con una masa de 1 gramo, las cuales fueron colocadas individualmente en los tubos correspondientes.

Las muestras se dejaron en reposo dentro de la solución durante 24 horas.

Finalmente, luego de transcurridas las 24 horas, se procedió al lavado y secado de las muestras, con el objetivo de obtener el resultado final del contenido

de lignina.

Ceras

Previo a la determinación de lignina y hemicelulosa, se realizó la evaluación del contenido de ceras (extractivos) presentes en la muestra.

Para ello, se utilizó una porción de la muestra previamente seca, la cual fue sometida a un proceso de extracción con solventes con el objetivo de remover compuestos como ceras, grasas, resinas y otras sustancias solubles.

La muestra fue colocada en contacto con el solvente durante un tiempo determinado, permitiendo la disolución de los extractivos presentes en el material.

Posteriormente, la muestra fue retirada del solvente, lavada y sometida a un proceso de secado hasta obtener peso constante.

La diferencia entre el peso inicial de la muestra seca y el peso final después de la extracción permitió determinar el contenido de ceras (extractivos) presentes en la muestra.

3.5.6. Diseño Factorial 2K.

El diseño factorial constituye una técnica de experimentación que posibilita la evaluación a la vez de la influencia de dos o más factores, así como de sus respectivas interacciones, sobre una variable de respuesta. En investigaciones vinculadas a la paja toquilla, esta metodología facilita el estudio de cómo elementos como el tratamiento de la fibra, la proporción de incorporación y las condiciones de procesamiento afectan características como la resistencia mecánica, la capacidad de absorción de agua o la longevidad del material. Su implementación permite perfeccionar los parámetros experimentales y alcanzar resultados consistentes en el desarrollo de materiales sostenibles.

3.1. METODOLOGIA OE II: DISEÑO DE MEZCLA PATRON CON FIBRAS DE PAJA TOQUILLA.

Con el propósito de asegurar que el Hormigón con una resistencia característica de $f'_c = 24$ MPa logre sus propiedades ideales y perdurabilidad, es esencial llevar a cabo un examen detallado de la calidad de la arena y la grava empleadas como agregados. Estos componentes constituyen aproximadamente el 70% del volumen total del Hormigón, por lo que desempeñan un papel crucial en su resistencia definitiva, la longevidad de la estructura y la facilidad de manejo de la mezcla de reforzar el Hormigón con el cual se va a construir hormigones, en este caso se ha optado por introducir fibras de paja toquilla a la mezcla para asegurar una mejor durabilidad, también es importante tener en cuenta cuales son los materiales que se va a usar en la mezcla ya que también depende de ellos la resistencia que este poseerá.

3.1.1. Procedimiento y Normas Aplicados Para los Materiales

A. Granulometría.

La evaluación granulométrica tiene un rol esencial en la identificación de los agregados, facilitando la comprobación del cumplimiento de las regulaciones técnicas ASTM C136, ASTM C33 y NTE INEN 696. Este análisis garantiza que los materiales empleados cuenten con una distribución apropiada de los tamaños de las partículas y una gradación ideal, lo cual influye de manera favorable en la resistencia, durabilidad y manejabilidad del Hormigón.

La granulometría es uno de los factores más importantes dentro de los agregados ya que, dentro de los estándares de la ASTM C136, ASTM C33 y NTE INEN 696 resulta importante evaluar la composición de los agregados, ya que esto garantizará que la mezcla que se vaya a utilizar para la construcción de hormigones

presenta la resistencia y durabilidad requerida.

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.

La granulometría de agregado grueso se basa en que las partículas se encuentren en un rango de 38 milímetros hasta 4.75 milímetros como máximo, para la clasificación de las partículas se usa una especie de tamiz, la cual resulta de gran ayuda al momento de trazar la curva granulométrica, la misma ayudara a brindar mayor firmeza al momento de construir 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.

En la granulometría de agregado fino las partículas deben estar en un rango de 0.075 milímetros hasta 4.75 milímetros como máximo, los agregados que se encuentran aquí vendrían hacer la arena ya que estas tienden a estar compuestas por partículas extremadamente finas, lo cual ayuda a que la mezcla forme un tipo de pasta la misma que resulta más fácil de manejar.

B. 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. Es importante tener en cuenta que la cantidad de agua que se vaya a adicionar a la mezcla dependerá de cuan húmedos se encuentren los agregados que se vayan a utilizar. Está regido por regulaciones como la ASTM C566 y NTE INEN 862.

C. Densidad Optima, Densidad Relativa en Estado Saturado (Gravedad Especifica Gs) Y Absorción.

a) Densidad optima (aparente suelta y compactada).

La densidad optima 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, cuando se realiza la mezcla con los agregados es importante que no existan vacíos entre las partículas, es decir la mezcla debe estar bien compactada ya que así se evitar que la estructura presente grietas o fisuras con el pasar del tiempo.

b) Densidad saturada superficialmente seca y Absorción

La densidad relativa en condiciones de saturación se define como la proporción entre la masa de una muestra de agregado completamente saturado y la masa del mismo volumen de agua. Cuando en saturación hablamos de densidad relativa nos estamos refiriendo al equilibrio que debe existir en la mezcla tanto en cantidades de material agregado con la cantidad de agua. Esta característica es fundamental para la formulación de mezclas y se evalúa de acuerdo a las normas ASTM C127 para los agregados gruesos y ASTM C128 para los finos. En Ecuador, las directrices NTE INEN 855 y NTE INEN 856 regulan la realización de dichos

ensayos.

A través de la aplicación de las normas técnicas, se estableció el porcentaje de absorción de agua en los agregados que se encuentran saturados y también en aquellos que están superficialmente secos. Para tener una buena mezcla es importante mezclar las cantidades correctas de cemento y agua, ya que en algunas ocasiones se ha evidenciado que algunos agregados tienden a absorber mayor cantidad de agua que otros. Esta propiedad tiene un impacto significativo en la relación agua/cemento y en la trabajabilidad del Hormigón.

3.1.2. 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 revenimiento es uno de los procesos más importantes en la construcción de hormigones, ya que este actúa mejor cuando la mezcla o el Hormigón está en condiciones apropiadas, es decir debe presentar una mezcla compacta y fluida, para que de esa manera el hormigón posea mayor resistencia. El ensayo de revenimiento sigue la norma ASTM C143 y NTE INEN 1578.

Cada uno de estos análisis es crucial para regular y mejorar la combinación de Hormigón con fibras de paja toquilla, asegurando que el material posea la resistencia estructural necesaria $f'_c = 24 \text{ Mpa}$ y las características mecánicas deseadas. Lo que se busca mediante este análisis es básicamente ver cómo actúa la mezcla de cemento cuando se le incorpora fibras de paja toquilla y como se puede mejorar dicha mezcla teniendo en cuenta que hay que conservar la resistencia ya que hay que trabajar siempre bajo las normas tanto locales como internacionales. Asimismo, adherirse a las normativas internacionales y locales en estos análisis proporciona solidez y legitimidad a la investigación, que será provechosa para su

aplicación futura en proyectos de construcción civil.

3.1.3. Diseño de mezcla.

La utilización del método ACI 211 es ampliamente valorada en el ámbito de la ingeniería civil, ya que permite modificar adecuadamente las proporciones de cemento, agua y agregados tanto finos como gruesos, para lograr las características deseadas respecto a la resistencia, durabilidad y trabajabilidad del Hormigón. Asimismo, toma en cuenta aspectos clave como el tamaño nominal máximo del agregado, la relación entre agua y cemento, así como el revenimiento, lo que facilita una dosificación adecuada en función de las especificaciones únicas de los materiales disponibles y las particularidades del proyecto.

De esta manera, se minimizan la cantidad de mezclas de prueba y el uso de materiales en la fase de laboratorio, asegurando que las proporciones finales satisfagan de manera simultánea las exigencias de rendimiento mecánico y de comportamiento de servicio.

3.1.4. Resistencia requerida promedio (f'_{cr})

Tabla 4.

Resistencia requerida promedio.

Resistencia especificada a la compresión, kg/cm²	Resistencia promedio requerida a la compresión, kg/cm²
$f'_c < 240$	$f'_{cr} = f'_c + 70$
$240 \leq f'_c \leq 350$	$f'_{cr} = f'_c + 85$
$f'_c > 350$	$f'_{cr} = 1.10 f'_c + 50$

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

La Tabla 4 muestra el cálculo de la resistencia promedio requerida que se usó para el diseño de la mezcla de concreto, tomando en cuenta los criterios del método ACI 211.1 para asegurar que se cumpla la resistencia de diseño.

Resistencia promedio requerida a la compresión.

Ecuación 3.

Resistencia requerida a la compresión.

$$f'_{cr} = f'_c + 85$$

3.1.5. Revenimiento.

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*”

La Tabla 5 presenta los valores de revenimiento sugeridos para diversos tipos de elementos constructivos, los cuales se usan como guía para escoger la consistencia apropiada del concreto conforme a su uso.

3.1.6. 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 (19mm), que corresponde al menor tamiz de la serie estándar por el cual pasa la totalidad de la muestra.

3.1.7. Agua de mezclado.

Ecuación 4.

Volumen de agua de mezclado.

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

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*”

La Tabla 6 expone la cantidad de agua de mezclado que se aconseja emplear para distintos valores de revenimiento y tamaños máximos nominales del agregado, la cual se toma como fundamento para el diseño de la mezcla de hormigón.

3.1.8. Relación agua/ cemento (a/c).

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*”

La Tabla 7 ilustra la correlación entre la relación agua/cemento y la resistencia a la compresión del hormigón, datos que se emplearon para determinar la dosificación apropiada de la mezcla.

Ecuación 5.

Interpolación relación a/c.

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

3.1.9. Contenido de cemento GU.

Ecuación 6.

Contenido de cemento.

$$c = \frac{d}{a/c}$$

Ecuación 7.

Volumen del cemento.

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

3.1.10. Determinación del volumen del agregado grueso.

Tabla 8.

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”

La Tabla 8 expone el volumen de agregado grueso que se necesita para un metro cúbico de hormigón, según el tamaño máximo nominal del agregado y el método ACI 211.1.

Ecuación 8.*Volumen de agregado grueso*

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

3.1.11. 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.*

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

3.1.12. 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.*

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

3.1.13. 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.

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

3.1.14. 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

$$W_{\text{ag.fino}} = \text{Densidad} \times \text{Volumen}$$

3.1.15. Corrección por Absorción y Humedad de los Agregados

Ecuación 14.

Corrección por absorción y humedad del agregado grueso.

$$W_{ag} = w_{ag}x(1 + \frac{\% w}{100})$$

Ecuación 15.

Corrección por absorción y humedad del agregado fino.

$$W_{ag} = w_{ag}x(1 + \frac{\% w}{100})$$

3.1.16. Corrección por Humedad y Absorción del Agua.

La corrección por humedad del agregado fino y grueso se determinará por medio de la ecuación 13.

Ecuación 16.

Corrección por humedad y absorción del agua.

Agregado grueso

$$\text{Balance de agua}_{ag} = w_{ag}x\left(\frac{\%w - \%abs}{100}\right)$$

Agregado fino

$$\text{Balance de agua}_{ag} = w_{ag}x\left(\frac{\%w - \%abs}{100}\right)$$

3.1.17. Cálculo de Agua Efectiva.

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

3.1.18. Corrección de la Relación agua/cemento

Ecuación 17.

Relación a/c corregida.

$$\text{relación } \frac{a}{c} \text{ corregida} = \frac{\text{cantidad de agua corregida}}{\text{contenido de cemento}}$$

Ecuación 18.

Cantidad de fibra de paja toquilla para 1m³ de hormigón.

Cantidad de fibra = densidad × porcentaje de adición × 1m³ de hormigón

3.1.19. Diseño de Mezcla patrón + Fibra de paja toquilla para Cilindros.

A partir de la dosificación inicial establecida, se incorporaron diferentes porcentajes de fibra de paja toquilla, en proporciones de 0.5%, 1%, 2%, 3%, 4% en peso con respecto al volumen del cemento. Para ello, se elaboró una muestra patrón y cinco tipos de mezcla por cada tipo de fibras de paja toquilla, resultando un total de 5 mezclas.

Se elaboraron 54 probetas de hormigón 10 cm de diámetro por 20 cm de altura, distribuidas en grupos de 9 para tipo de mezcla con adición de fibra de paja toquilla. Todas las muestras fueron correctamente curadas y sometidas a ensayos de resistencia a la compresión a los 7, 14, 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.

Como resultado, se fabricaron 27 vigas de 15 cm x 15 cm x 53 cm. Estas se distribuyeron en 3 unidades para las distintas mezclas que se definieron. después de someterlas a curado a los 7 y 28 días, se realizó la prueba de resistencia a la flexión.

3.1.20. Determinación del tiempo de fraguado por el método de Vicat.

El ensayo consiste en preparar una pasta de cemento con la cantidad de agua normalizada y colocarla en un molde troncocónico del aparato de Vicat.

Posteriormente, se deja penetrar una aguja estandarizada sobre la superficie de la pasta a intervalos regulares para evaluar el avance del proceso de endurecimiento.

Fraguado inicial: corresponde al tiempo transcurrido desde el contacto del cemento con el agua hasta el momento en que la aguja de Vicat deja de penetrar hasta una distancia específica del fondo del molde (generalmente entre 4 y 6 mm, según la norma aplicable).

Fraguado final: Corresponde al tiempo en que la aguja deja de marcar la superficie de la pasta, indicando un endurecimiento suficiente.

3.1.21. Determinación del contenido de aire mediante el ensayo de Olla de Washington.

La Olla de Washington es un dispositivo empleado para establecer la cantidad de aire presente en el concreto recién mezclado a través de un método basado en presión. La prueba implica llenar el contenedor con concreto, ejercer una presión específica y cuantificar el porcentaje de aire atrapado en la mezcla. Este proceso es esencial para supervisar la calidad del concreto y asegurar su resistencia, durabilidad y desempeño ante ciclos de congelación y descongelación.

3.2. METODOLOGIA OE.III: ANALISIS ECONÓMICO

Para comparar el costo de producción entre un hormigón convencional de 24 MPa y un hormigón reforzado con fibra de paja toquilla tratada con NaOH, se elaboró un análisis de precios unitarios por metro cúbico de cada mezcla. Inicialmente, se determinaron las cantidades de materiales requeridas para la fabricación de ambos hormigones, considerando cemento, agregados, agua y fibra tratada.

Posteriormente, se recopilaron los precios unitarios de los materiales mediante cotizaciones en establecimientos comerciales locales y bases de datos de

costos de construcción vigentes. En el caso del hormigón reforzado, también se consideraron los costos asociados al tratamiento químico de la fibra, incluyendo el hidróxido de sodio, el consumo de agua y el proceso de secado.

Con los resultados obtenidos, se calculó el costo por metro cubico de cada alternativa y se realizó una comparación económica. Finalmente, se evaluó la factibilidad de incorporar fibra de paja toquilla tratada en el hormigón frente al convencional.

CAPÍTULO 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 paja toquilla 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 paja toquilla que contribuye a mejorar el desempeño mecánico del material como ductilidad, tenacidad y resistencia sin afectar negativamente su trabajabilidad, durabilidad

4.1. R.O.1. CARACTERIZACIÓN DE LA FIBRA DE PAJA TOQUILLA TRATADA CON NaOH

Con el objetivo de analizar el impacto del tratamiento químico utilizando hidróxido de sodio (NaOH) en la fibra de paja toquilla, se llevaron a cabo pruebas de caracterización tanto física como química antes y después de realizar el tratamiento alcalino. Los hallazgos resultantes facilitaron la identificación de las alteraciones ocurridas en las propiedades de la fibra y la evaluación de su idoneidad como material de refuerzo en composiciones de hormigón.

En el transcurso de la fase experimental, se pudo notar que el tratamiento con NaOH generó alteraciones evidentes en la superficie de las fibras, eliminando contaminantes, restos orgánicos y materiales superficiales que pudieran comprometer la

adhesión con la matriz cementosa. Asimismo, las fibras mostraron una textura más rugosa y consistente, lo que resulta propicio para mejorar la interacción mecánica con el hormigón.

Los análisis de humedad efectuados demostraron una disminución en el contenido de agua en las fibras tras el tratamiento y el secado controlado. La humedad inicial observada fue de 6,9 %, mientras que la humedad durante el análisis se situó en 5,55 %, valores que se consideran apropiados para su uso en materiales cementicios.

Adicionalmente, la evaluación de la capacidad de absorción de agua permitió establecer la habilidad de las fibras tratadas para retener humedad. Los resultados obtenidos indican que el tratamiento alcalino ayudó a mejorar las características de la superficie del material, favoreciendo su compatibilidad con la matriz de cemento y minimizando la presencia de elementos que podrían influir negativamente en el rendimiento mecánico del hormigón.

A partir de los resultados logrados, se establece que el tratamiento con NaOH optimizó las propiedades físicas de la fibra de paja toquilla, ampliando su potencial para ser utilizada como material de refuerzo en hormigones de carácter estructural. Estos hallazgos constituyen el fundamento para la preparación y análisis de las mezclas de hormigón que se desarrollarán en la siguiente fase de la investigación, como se muestran los esfuerzos obtenidos para la fibra de paja toquilla se presentan en la Tabla 9.

Tabla 9.*Esfuerzos de la fibra de paja toquilla*

						Esfuerzo				
	x 1	x 2	(x1) (x2)	A (porcentaje de NaOH)	B(tempe ratura)	I	II	III	Promedio	Porcentaje
nor mal	0	0	0	0	0	161,693582	147,679821	135,802032	148,391812	0
-1	-1	-1	-1	1,5	55	231,072677	278,563759	170,493209	226,709882	52,7778915
a	1	-1	1	3,5	55	151,531878	158,284619	185,154863	164,990453	11,1856854
b	-1	1	1	1,5	75	187,924623	198,130646	199,71734	195,257536	31,5824192
ab	1	1	-1	3,5	75	136,673287	125,224832	203,670537	155,189552	4,58094006

Fuente: Elaboración propia (2026)

Análisis

Los resultados indican que el tratamiento de la fibra de paja toquilla con 1,5 % de NaOH a 55 °C presentó el mejor comportamiento, obteniendo un 52,78 % de mejora respecto a la muestra sin tratamiento. Esto sugiere que estas condiciones permiten eliminar impurezas superficiales de la fibra sin afectar su estructura, favoreciendo sus propiedades.

Al incrementar la concentración de NaOH a 3,5 % y la temperatura a 75 °C, los porcentajes disminuyeron hasta 11,19 %, 31,58 % y 4,58 %, respectivamente. Esto indica que un tratamiento químico más severo puede deteriorar la estructura de la fibra de paja toquilla, reduciendo su desempeño.

En consecuencia, se concluye que la condición de 1,5 % de NaOH y 55 °C es la más adecuada para el tratamiento de la fibra de paja toquilla, ya que proporciona los mejores resultados y conserva sus propiedades para su uso como refuerzo en el hormigón.

Tabla 10.

Resumen de caracterización de fibra de paja toquilla.

CARACTERIZACION DE FIBRA DE PAJA TOQUILLA		
PROPIEDADES FISICAS		
Longitud de fibra	Min 3-Max 10 Min 3- Max	cm
Diámetro de fibra	0,925	um
Contenido de humedad	5,33	%
Absorción	93,2	%
PROPIEDADES QUIMICAS		
Contenido de hemicelulosa	13,33	%
Contenido de celulosa	68,67	%
Contenido de lignina	18	%
PH de la fibra tratada	7	Neutro
Ceras	3	%
PROPIEDADES MECANICAS		
Resistencia a la tracción de la fibra	Min 115- Max 260	Mpa
Elongación a la rotura	25	%

Fuente: Elaboración propia (2026)

Análisis: Los resultados de la caracterización de la fibra de paja toquilla evidencian que este material presenta propiedades físicas, químicas y mecánicas favorables para su uso como refuerzo en materiales compuestos. En cuanto a las propiedades físicas, la fibra posee una longitud entre 10 y 20 cm, un contenido de humedad de 5,33 % y una elevada absorción de agua (93,2 %), lo que confirma su naturaleza hidrofílica. Químicamente, destaca un alto contenido de celulosa (68,67 %), acompañado de hemicelulosa (13,33 %) y lignina (18 %), composición que aporta buena resistencia mecánica y rigidez estructural. Además, el pH neutro (7) y el bajo contenido de ceras (3 %) favorecen la compatibilidad de la fibra con diferentes matrices poliméricas. Finalmente, las propiedades mecánicas muestran una resistencia a la tracción entre 115 y 260 MPa y una elongación a la rotura del 25 %, lo que demuestra que la fibra posee una adecuada capacidad para soportar esfuerzos mecánicos, siendo una alternativa sostenible y de buen desempeño para aplicaciones en materiales compuestos.

Tabla 11.

Variables de diseño

FACTOR		% NaOH	Temperatura
A	B	Combinaciones de tratamiento	
-	-	1.5	55
+	-	3.5	75
-	+	1.5	55
+	+	3.5	75

Fuente: Elaboración propia (2026)

La Tabla 11 muestra las variables incluidas en el diseño del experimento para analizar el impacto del tratamiento con NaOH en la fibra de paja toquilla y su repercusión en las características del hormigón.

Tabla 12.

Constante

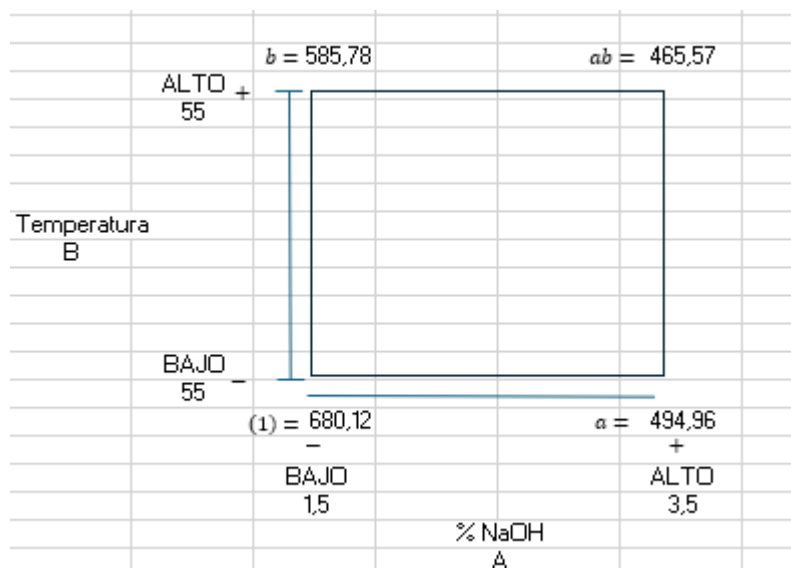
		Esfuerzo (Mpa)		
Combinaciones de tratamiento		REPLICA		
		I	II	III
1.5	55	231,07	278,56	170,49
3.5	75	151,53	158,28	185,15
1.5	55	187,93	198,13	199,72
3.5	75	136,67	125,23	203,67

Fuente: Elaboración propia (2026)

La Tabla 12 presenta las constantes utilizadas durante el diseño experimental, las cuales se mantuvieron invariables para garantizar la confiabilidad y comparabilidad de los resultados obtenidos.

Tabla13.

Combinación de tratamiento en el diseño.



Fuente: Elaboración propia (2026)

La Tabla 13 muestra las combinaciones de tratamientos que se definieron en el diseño experimental, las cuales permiten evaluar cómo cada una de las condiciones de estudio afecta el comportamiento del hormigón reforzado con fibra de paja toquilla.

Tabla 14.

Efecto promedio.

VARIABLE	EFFECTO PROMEDIO
A	-50,895
B	-20,62166667
AB	10,825

Fuente: Elaboración propia (2026)

La Tabla 14 muestra los efectos promedio que se obtuvieron para cada uno de los tratamientos que se evaluaron, lo cual permite identificar cómo las variables del experimento influyeron en la respuesta que se analizó.

Tabla 15.

Suma de cuadrados.

VARIABLE	SUMA DE CUADRADOS
$SS_J = \sum_{i=1}^3 \sum_{j=1}^3 \sum_{k=1}^4 y_{ijk}^2$	432654,2513
$\frac{y_{...}^2}{4n}$	413082,5454
SS_T	19571,70589

Fuente: Elaboración propia (2026)

La Tabla 15 muestra la suma de cuadrados para el análisis estadístico del diseño experimental, la cual se emplea para establecer la variabilidad que corresponde a cada uno de los factores que se estudiaron.

Tabla 16.

Suma de cuadrados del error.

VARIABLE	SUMA DE CUADRADOS DEL ERROR
SS_E	10173,50153

Fuente: Elaboración propia (2026)

La Tabla 16 muestra la suma de los cuadrados del error, la cual se usa para medir la variabilidad residual del modelo y así estimar la precisión de los resultados

experimentales.

Tabla 17.

Cuadrado medio.

VARIABLE	SUMA DE CUADRADO	GRADO DE LIBERTAD	CUADRADO MEDIO
A	7770,90308	1	7770,903075
B	1275,75941	1	1275,759408
AB	351,541875	1	351,541875
ERROR	10173,5015	8	1271,687692

Fuente: Elaboración propia (2026)

La Tabla 17 muestra los valores del cuadrado medio resultantes del análisis de varianza, lo que facilita la comparación entre la variabilidad de los tratamientos y la variabilidad inherente al error experimental.

Tabla 18.

Valor de P

VARIABLE	VALOR P
A	0,046
B	0,294
AB	0,694

Fuente: Elaboración propia (2026)

La Tabla 18 expone los valores de probabilidad (p) que resultaron del análisis estadístico, los cuales se emplearon para establecer la relevancia de los factores que se examinaron en el marco del diseño experimental.

Análisis: Los dos efectos esenciales en las investigaciones A y B presentan un valor P igual o inferior a 0.05, lo que sugiere que no se satisfacen los criterios necesarios para corroborar la teoría aplicada de acuerdo con este enfoque.

Tabla 19

Residuales y adecuación del modelo.

X_1	X_2	$\bar{y}$	e_1	e_2	e_3
-1	-1	200,6725	-12,7425	-2,5424	-0,9525
+1	-1	170,399167	-18,8691667	-12,1191667	14,7508333
-1	+1	149,7775	-13,1075	-24,5475	-53,8925
+1	+1	221,294167	9,77583333	57,2658333	-50,8041667

Fuente: Elaboración propia (2026)

La Tabla 19 muestra el análisis de los residuales y la bondad de ajuste del modelo estadístico, lo que permite constatar si se cumplen los supuestos requeridos para la validez del análisis experimental.

Tabla20.

Probabilidad normal.

RESIDUAL	PROBABILIDAD NORMAL
-33,364	100,000
8,503	91,667
77,888	83,333
1,753	75,000
-30,183	66,667
-21,574	58,333
-45,169	50,000
30,398	41,667
-33,729	33,333
35,373	25,000
-23,164	16,667
33,271	8,333

Fuente: Elaboración propia (2026)

La Tabla 20 muestra la evaluación de la probabilidad normal de los residuales, que se utiliza para verificar la distribución de los datos y la fiabilidad del modelo estadístico que se aplicó.

Tabla 21.

Residuales contra el rendimiento predicho.

RENDIMIENTO PREDICHO	RESIDUAL
200,673	30,398
200,673	77,888
200,673	-30,183
149,778	1,753
149,778	8,503
149,778	35,373
221,294	-33,364
221,294	-23,164
221,294	-21,574
170,399	-33,729
170,399	-45,169
170,399	33,271

Fuente: Elaboración propia (2026)

La Tabla 21 muestra cómo se relacionan los residuales con los valores que predice el modelo, lo que nos ayuda a ver si la varianza es homogénea y a detectar si los datos se desvían de lo esperado.

4.1.1. Resultado de Ensayo Aguja de vicat

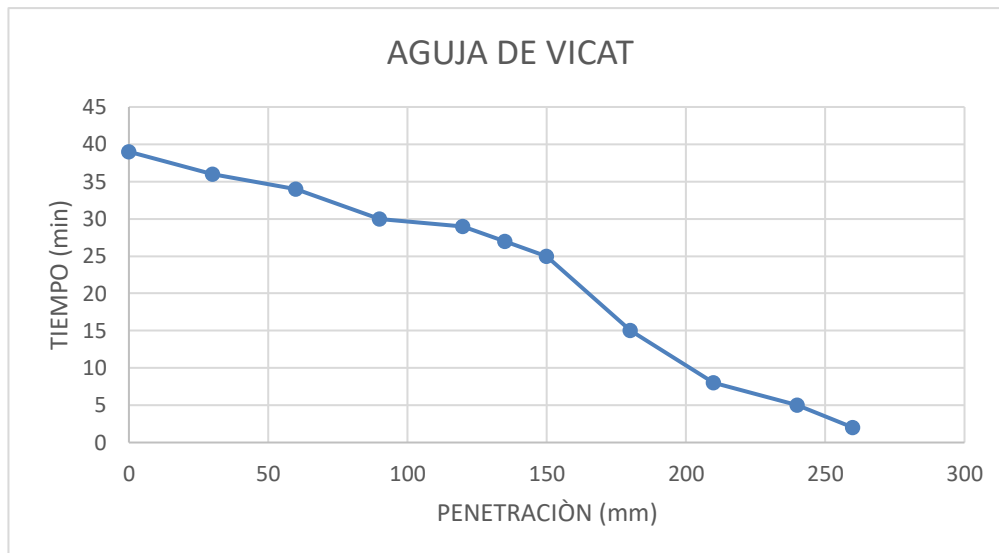
Tabla22

Ensayo aguja de vicat

ENSAYO DE AGUJA DE VICAT			
HORA	TIEMPO (min)	PENETRACION (mm)	OBSERVACION
9:00	0	39	Pasta recién preparada
9:30	30	36	
10:00	60	34	
10:30	90	30	
11:00	120	29	
11:15	135	27	Fraguado inicial
11:30	150	25	
12:00	180	15	
12:30	210	8	
13:00	240	5	fraguado final
13:20	260	2	

Fuente: Elaboración propia (2026)

La Tabla 22 presenta los resultados obtenidos en el ensayo de aguja de Vicat, utilizado para determinar los tiempos de fraguado inicial y final del cemento empleado en la investigación.



Fuente: Elaboración propia (2026)

Análisis: Los resultados muestran que la penetración de la aguja disminuyó de 39 mm a 2 mm, evidenciando el endurecimiento progresivo de la pasta por la hidratación del cemento. El fraguado inicial se registró a los 150 minutos y el fraguado final a los 260 minutos. La gráfica confirma esta tendencia, indicando un comportamiento de fraguado normal y adecuado para su colocación y endurecimiento.

4.1.2. Resultado de Ensayo de contenido de aire- Olla de Washington.

Tabla 23

Ensayo olla de Washington

MEZCLA	CONTENIDO DE AIRE
Hormigón con 0,5 % de fibra de paja toquilla	2,00%

Fuente: Elaboración propia (2026)

La Tabla 23 muestra los resultados del ensayo de la olla de Washington, con el cual se determinó la cantidad de aire contenida en el hormigón fresco que se preparó para la investigación.

Análisis: Los resultados del ensayo de la olla de Washington indican que la mezcla de hormigón reforzada con 0,5 % de fibra de paja toquilla presentó un

contenido de aire del 2,0 %. Este valor corresponde al contenido de aire incorporado en el hormigón en estado fresco, determinado mediante el procedimiento establecido para el ensayo.

4.2. RESULTADO D.O 2. DISEÑO DE MEZCLA PATRON Y CON FIBRA DE PAJA TOQUILLA

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 paja toquilla.

Tabla 24.

Granulometría de Agregado Grueso.

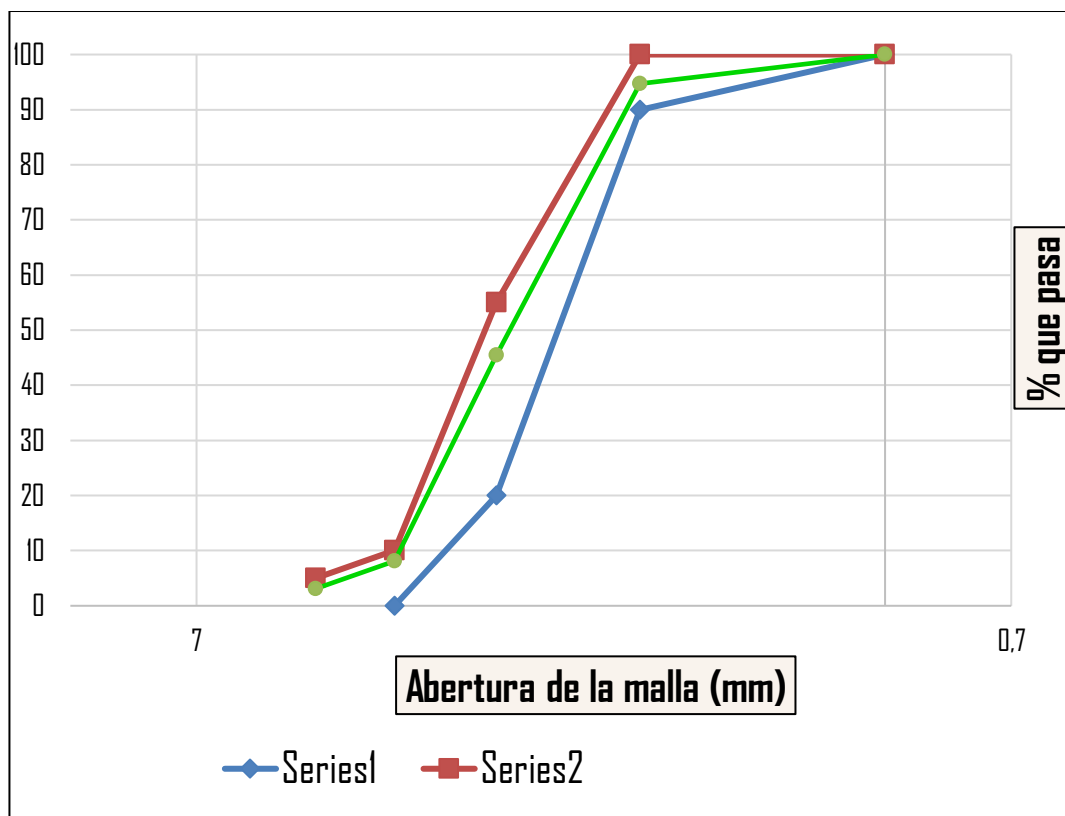
TAMIZ	ABERTURA	W PARCIAL	% RETENIDO	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA	ESPECIFICACIONES A.S.T.M							
						N° 56		N° 57		N° 6		N° 67	
2"	50	0	0,00	0,00	100,00								
1 1/2"	37.5	0	0,00	0,00	100,00	100	100	100	100				
1"	25	0,000	0,00	0,00	100,00	90	100	95	100	100	100	100	100
3/4"	19	523,000	5,26	5,26	94,74	40	85	-----	-----	90	100	90	100
1/2"	12.5	4.897,000	49,30	54,56	45,44	10	40	25	60	20	55	20	55
3/8"	9.5	3.712,000	37,37	91,93	8,07	0	15	-----	-----	0	10	0	10
N° 4	4.75	495,000	4,98	96,91	3,09	0	5	0	10	0	5	0	5
N°8	2.36	146,000	1,47	98,38	1,62			0	5			0	0
N°16	1,18	89,000	0,90	99,28	0,72								
FONDO		72,000	0,72	100,00	0,00								
TOTAL		9934	100,00		MF= 5,46								

Fuente: Elaboración propia (2026)

La Tabla 24 muestra cómo se distribuyen los tamaños de las partículas del agregado grueso, según lo determinado por análisis de tamizado, y sirve para comprobar que se cumplen las especificaciones de la norma aplicable.

Gráfico 1.

Curva granulométrica del agregado grueso



Fuente: Elaboración propia (2026)

Tabla 25.

Granulometría de Agregado Fino.

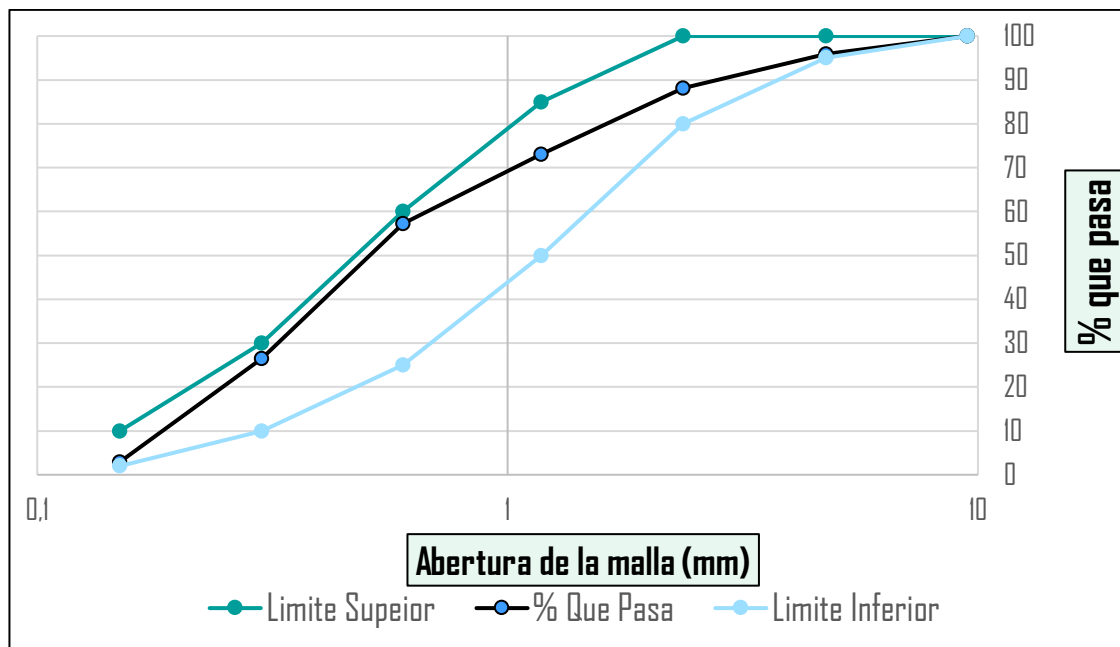
TAMIZ	ABERTURA	W PARCIAL	% RETENIDO	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA	ESPECIFICACIÓN A.S.T.M	
3/8"	9,5	0	0,00	0,00	100,00	100	100
Nº 4	4,75	78	4,07	4,07	95,93	95	100
Nº 8	2,36	148,6	7,76	11,83	88,17	80	100
Nº 16	1,18	289,2	15,10	26,93	73,07	50	85
Nº 30	0,6	304	15,87	42,80	57,20	25	60
Nº 50	0,3	588,5	30,72	73,52	26,48	10	30
Nº 100	0,15	450,6	23,52	97,05	2,95	2	10
FONDO		56,6	2,95	100,00	0,00	0	0
TOTAL		1915,500	100,00				

Fuente: Elaboración propia (2026)

La Tabla 25 muestra la distribución granulométrica del agregado fino, la cual se obtuvo mediante el ensayo de tamizado. Esto permite evaluar si su gradación es adecuada para el diseño de la mezcla de hormigón.

Gráfico 2.

Curva granulométrica del agregado fino



Fuente: Elaboración propia (2026)

Tabla 26.

Peso Volumétrico Suelto de Agregado Grueso.

PESO VOLUMÉTRICO SUELTO		
Volumen	0,0097369	m ³
P.v.s. + recipiente	20,35	Kg
Recipiente	10,94	Kg
Peso	9,41	Kg
P.V.S.	966,43	Kg/ m ³

Fuente: Elaboración propia (2026)

La Tabla 26 muestra los resultados del peso volumétrico suelto del agregado grueso, que es un parámetro empleado para definir las características de almacenamiento y dosificación del material.

Tabla 27.*Peso Volumétrico Suelto de Agregado Fino.*

PESO VOLUMÉTRICO SUELTO		
Volumen	0,0029249	m ³
P.v.s. + recipiente	8,53	Kg
Recipiente	4,42	Kg
Peso	4,11	Kg
P.V.S.	1405,17	Kg/ m ³

Fuente: Elaboración propia (2026)

En la Tabla 27 se muestran los resultados del peso volumétrico suelto para el agregado fino, datos que se emplearon para calcular las proporciones de la mezcla de hormigón.

Tabla 28.*Peso Volumétrico Varillado de Agregado Grueso.*

PESO VOLUMÉTRICO VARILLADO		
Volumen	0,0097369	m ³
P.v.s. + recipiente	23,44	Kg
Recipiente	10,94	Kg
Peso	12.5	Kg
P.V.V.	1283.78	Kg/ m ³

Fuente: Elaboración propia (2026)

La Tabla 28 muestra los resultados del peso volumétrico varillado del agregado grueso, lo que permite determinar la densidad aparente del material una vez compactado.

Tabla 29.*Densidad Saturada Superficialmente Seca de Agregado Grueso (D.S.S.S).*

DENSIDAD SATURADA SUPERFICIALMENTE SECA		
P.S.S. S	2000	gr.
W (canastilla sumergida)	1053	gr.
W (canastilla sumergida + material	2296	gr.
W (canastilla sumergida + material) – W(canastilla)	1243	gr.
Volumen	1038.89	cm ³
	1.93	gr/ cm ³
D.S.S. S	1925.13	Kg/ m ³

Fuente: Elaboración propia (2026)

La Tabla 29 muestra la densidad saturada superficialmente seca del agregado grueso, la cual se usó para calcular la dosificación y corregir el contenido de agua de la mezcla.

Tabla 30.*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	391	gr.
W desalojado	191	gr.
V desalojado	191	cm ³
	2,62	gr/ cm ³
D.S.S. S	2617.80	Kg/ m ³

Fuente: Elaboración propia (2026)

La Tabla 30 muestra la densidad saturada superficialmente seca del agregado fino, un parámetro que se utiliza tanto en el diseño de la mezcla de hormigón como para determinar las proporciones de los materiales.

Tabla 31.*Porcentaje de Absorción de agregado grueso.*

PORCENTAJE DE ABSORCIÓN		
Peso grava saturada	1973,36	gr.
Peso grava seca	1935,36	gr.
Agua desalojada	38	gr.
Absorción	1,96	%
Fuente: Elaboración propia (2026)		

La Tabla 31 muestra el porcentaje de absorción del agregado grueso, una propiedad que permite determinar cuánta agua absorbe el material y hacer las correcciones necesarias al diseñar la mezcla.

Tabla 32.*Porcentaje de Absorción de Agregado Fino.*

PORCENTAJE DE ABSORCIÓN		
Peso arena saturada	419,2	gr.
Peso arena seca	425,6	gr.
Agua desalojada	-6,4	gr
Absorción	-1.50	%
Fuente: Elaboración propia (2026)		

La Tabla 32 muestra el porcentaje de absorción del agregado fino.

Tabla 33.*Porcentaje de Humedad de Agregado Fino.*

PORCENTAJE DE HUMEDAD		
Recipiente	P	
W recipiente	46,200	gr.
W arena + recipiente	504,200	gr.
W arena seca + recipiente	470,100	gr.
W de agua	34,200	gr.
W de arena seca	423,900	gr.
Humedad	8,07	%
Fuente: Elaboración propia (2026)		

La Tabla 33 muestra el contenido de humedad del agregado fino, un parámetro que se necesita para hacer las correcciones de dosificación y asegurar la relación agua/cemento que se fijó.

Tabla 34.

Porcentaje de Humedad de Agregado Grueso

PORCENTAJE DE HUMEDAD		
Recipiente	CH	
W recipiente	163,900	gr.
W grava + recipiente	2436,100	gr.
W grava seca + recipiente	2433,400	gr.
W de agua	2,700	gr.
W de grava seca	2269,500	gr.
Humedad	0,12	%

Fuente: Elaboración propia (2026)

La Tabla 34 muestra el contenido de humedad del agregado grueso, el cual se utiliza para ajustar la cantidad de agua de mezclado y así garantizar la uniformidad del hormigón.

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 en la tabla 35.

Tabla 35.

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

RESUMEN DE DATOS		
Agregado fino (Arena)		
Módulo de finura	3,00	
Peso volumétrico	1405,17	Kg/ m ³
D.S.S. S	2631,58	Kg/ m ³
Absorción	-1,50	%
Humedad	8,07	%

Agregado Grueso (Grava)		
Peso volumétrico suelto	966,43	Kg/ m ³
Peso volumétrico varillado	1283,78	Kg/ m ³
D.S.S. S	2617.80	Kg/ m ³
Tamaño máximo nominal	19	Mm
Absorción	1.96	%
Humedad	0.12	%
Fuente: Elaboración propia (2026)		

A. Cálculo de la resistencia promedio requerida a la compresión.

Resistencia requerida a la compresión.

$$f'_{cr} = f'_c + 85$$

$$f'_{cr} = 240 + 85$$

$$f'_{cr} = 325 \text{ kg/cm}^2$$

De la tabla 5 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.

4.2.2. 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 (19mm), que corresponde al menor tamiz de la serie estándar por el cual pasa la totalidad de la muestra.

4.2.3. Cálculo de agua de mezclado.

De acuerdo con los datos obtenidos de revenimiento de 8 cm y tamaño máximo nominal del agregado grueso de mm, mediante la tabla 6 se determinó la cantidad de agua de mezclado obteniendo una cantidad de agua de 205 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 19.

Volumen de agua de mezclado.

$$\begin{aligned} \text{Volumen}_{\text{agua}} &= \frac{m_{\text{agua}}}{d_{\text{agua}}} \\ \text{Volumen}_{\text{agua}} &= \frac{205 \text{ kg}}{1000 \text{ kg/m}^3} \\ \text{Volumen}_{\text{agua}} &= 0,205 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

4.2.4. Relación agua/ cemento (a/c).

En la tabla 5 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 325 kg/cm^2 , se realizó una interpolación utilizando datos próximos disponibles para resistencias de 350 kg/cm^2 y 300 kg/cm^2 como se muestra en la tabla 9. De este análisis se obtuvo una relación agua/ cemento de 0,52 para nuestro diseño.

Tabla 36.

Datos de interpolación obtenidos en la tabla 8.

350	0,48
325	(a/c)
300	0,55

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

La Tabla 36 muestra los datos que se obtuvieron con el proceso de interpolación, el cual se llevó a cabo a partir de la información de la Tabla 8. Estos datos se emplearon para definir los parámetros que se necesitan en el diseño de la mezcla.

Ecuación 20.*Interpolación relación a/c.*

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

$$\frac{a}{c} = 0,48 + \frac{0,55 - 0,48}{300 - 350}(325 - 350)$$

$$\frac{a}{c} = 0,52$$

4.2.5. 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 21.*Contenido de cemento.*

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

$$c = \frac{205 \text{ kg/m}^3}{0,52}$$

$$c = 396,98 \text{ kg/m}^3$$

Ecuación 22.*Volumen del cemento.*

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

$$Volumen_{cemento} = \frac{396,98 \text{ kg}}{3150 \text{ kg/m}^3}$$

$$Volumen_{cemento} = 0,126 \text{ m}^3$$

4.2.6. Determinación del volumen del agregado grueso.

El volumen del agregado grueso (V_{ag}) para 1m^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 7, para determinar el volumen adecuada de nuestro agregado grueso teniendo que la arena tiene un módulo de finura de 3,09, se realizó una interpolación utilizando datos próximos disponibles para módulos de finura de 2.80 y 3.00 como se muestra en la tabla 11. Obteniendo un volumen de agregado grueso de $0,55\text{ m}^3$ valor que asegura un equilibrio adecuado entre los agregados finos y gruesos, minimizando la segregación y mejorando la resistencia del hormigón.

Tabla 37.

Datos de interpolación obtenidos en la tabla 10.

3.09	V_{ag}
2.80	0.62
3.00	0.60

Fuente: Elaboración propia (2026)

$$y = y_0 + \frac{y_1 - y_0}{x_1 - x_0}(x - x_0)$$
$$V_{ag} = 0,62 + \frac{0,60 - 0,62}{3,00 - 3,09}(2,80 - 3,09)$$
$$V_{ag} = 0,55$$

4.2.7. 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 23.

Peso del agregado grueso.

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

$$W = 0,55m^3 \times 1283,78 \text{ kg}/m^3$$

$$W = 706,08 \text{ kg}$$

4.2.8. Cálculo del Volumen Real del Agregado Grueso.

Ecuación 24.

Densidad del agregado grueso.

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

Ecuación 25.

Volumen real del agregado grueso.

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

$$V_{rag} = \frac{706,08 \text{ kg}}{2642,01 \text{ kg}/m^3}$$

$$V_{rag} = 0,267m^3$$

4.2.9. 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.

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

Ecuación 26.

Volumen del agregado fino.

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

$$V_{ag.fino} = 1 \text{ m}^3 - (0,205 + 0,113 + 0,267 + 0,02)$$

$$V_{ag.fino} = 0,27m^3$$

4.2.10. 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 27.

Peso del agregado fino

$$W_{ag.fino} = 0.27 \text{ m}^3 \times 2630, \text{ kg/m}^3$$

$$W_{ag.fino} = 710,10 \text{ kg}$$

4.2.11. Pesos de Materiales Para Mezcla de Hormigón

En la tabla 38 se mostrarán las cantidades de los materiales para la mezcla para 1 m³ de hormigón.

Tabla 38.

Cantidad de mezcla en kg para 1m³ de hormigón

MATERIALES	DOSIFICACIÓN		
	W (kg)	D (kg/m ³)	V (m ³)
Agua	205	1000	0.205
Cemento	396,98	3150	0.126
Agregado fino	710,10	2631,58	0.249
Agregado grueso	706.08	1925,13	0.400

Fuente: Elaboración propia (2026)

4.2.12. Corrección por Absorción y Humedad de los Agregados

La corrección por absorción y humedad de los agregados se calculará empleando las ecuaciones 28 y 29. 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 28.

Corrección por absorción y humedad del agregado grueso.

$$W_{ag} = w_{ag}x(1 + \frac{\% w}{100})$$

$$w_{ag} = 706,08x(1 + \frac{0,12}{100})$$

$$w_{ag} = 706,92 \text{ kg}$$

Ecuación 29.

Corrección por absorción y humedad del agregado fino.

$$W_{ag} = w_{ag}x(1 + \frac{\% w}{100})$$

$$w_{ag} = 710,10x(1 + \frac{2,63}{100})$$

$$w_{ag} = 728,75 \text{ kg}$$

4.2.13. Corrección por Humedad y Absorción del Agua.

La corrección por humedad del agregado fino y grueso se determinará por medio de la ecuación 30.

Ecuación 30.

Corrección por humedad y absorción del agua.

Agregado grueso

$$Balance \text{ de agua}_{ag} = w_{ag}x(\frac{\%w - \%abs}{100})$$

$$Balance \text{ de agua}_{ag} = 710,10x(\frac{0,12 - 1,96}{100})$$

$$Balance \text{ de agua}_{ag} = -12,99 \text{ kg}$$

Agregado fino

$$\text{Balance de agua}_{ag} = w_{ag}x\left(\frac{\%w - \%abs}{100}\right)$$

$$\text{Balance de agua}_{ag} = 710,10x\left(\frac{2,63 - 1,53}{100}\right)$$

$$\text{Balance de agua}_{ag} = 7,811 \text{ kg}$$

4.2.14. 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

$$(-12,99 + 7,811) = -5,18 \text{ kg}$$

cantidad de agua corregida

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

$$\text{cantidad de agua corregida} = 205\text{kg} - (-5,18) \text{ kg}$$

$$\text{cantidad de agua corregida} = 210,18\text{kg por m}^3 \text{ de hormigon}$$

$$\text{cantidad de agua corregida} = 0,518 \text{ m}^3$$

4.2.15. Pesos de Materiales Corregidos Para Mezcla de Hormigón.

En la tabla 39 se mostrarán las cantidades corregidas de los materiales para la mezcla para 1 m³ de hormigón

Tabla 39.

Cantidades corregidas de mezcla en kg para 1m³ de hormigón.

DOSIFICACIÓN			
Materiales	W (kg)	D (kg/m ³)	V (m ³)
Agua	210,18	1000	0.157
Cemento	396,98	3150	0.126
Agregado fino	706,92	2631,58	0.269
Agregado grueso	728,75	1925,13	0.401

Fuente: Elaboración propia (2026)

4.2.16. 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 31.

Ecuación 31.

Relación a/c corregida.

$$relaci\grave{o}n \frac{a}{c} corregida = \frac{cantidad\ de\ agua\ corregida}{contenido\ de\ cemento}$$

$$relaci\grave{o}n \frac{a}{c} corregida = \frac{210,18}{350,90}$$

$$relaci\grave{o}n \frac{a}{c} corregida = 0,60$$

4.2.17. Proporciones en Peso de los Agregados

Tabla 40.

Proporci3n en peso de agregados para mezcla de hormig3n

DOSIFICACI3N		
Materiales	kg	Al peso
Agua	164.72/408,04	0.39
Cemento	408,04/408.04	1
Agregado fino	719.03/408,04	1.78
Agregado grueso	1096,28/408,04	2

Fuente: Elaboraci3n propia (2026)

En la Tabla 40 se muestra la proporción en peso de los agregados que se usaron en la mezcla de concreto, esto con el fin de asegurar que se cumpla con la resistencia de diseño.

4.2.18. Cantidad de Fibra de Paja Toquilla Para 1m³ de Hormigón.

Tabla 41.

Dosificación de fibra de paja toquilla para 1m³

DOSIFICACION DE FIBRA PARA 1m ³			
Densidad de la fibra de paja toquilla (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)
700	0.5%	0.005	0.4
700	1%	0.010	0.81
700	2%	0.020	161.6
700	3%	0.030	242.4
700	4%	0.040	323.2

Fuente: Elaboración propia (2026)

La Tabla 41 muestra la cantidad de fibra de paja toquilla que se agregó por cada metro cúbico de hormigón, según el porcentaje que se definió en el estudio.

Ecuación 32.

Cantidad de fibra de paja toquilla para 1m³ de hormigón.

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

Tabla 42.

Proporciones para 1m³ de hormigón.

CANTIDAD DE MATERIALES PARA PARA 1 M³ DE HORMIGÓN			
Materiales	W (kg)	D (kg/m³)	V (m³)
Agua	210,08	1000	0.205
Cemento	396,98	3150	0.126
Agregado fino	706.92	2617.80	0.269
Agregado grueso	728,75	1925.13	0.401
Aire	0	0	0.020
Total	2.042,73		1,02

Fuente: Elaboración propia (2026)

La Tabla 42 muestra las proporciones finales de los materiales que se necesitan para hacer un metro cúbico de hormigón, de acuerdo con el diseño de mezcla que se desarrolló.

Partiendo de la dosificación de la mezcla H240, se añadieron fibras de paja toquilla en cantidades volumétricas de 0.5%, 1%, 2%, 3% y 4%, manteniendo la cantidad de otros materiales sin cambios para analizar el impacto de las distintas dosis en las características del hormigón, tal como se presenta en la Tabla 43 y 44.

Tabla43.

Proporciones de materiales para cilindros pequeños de hormigón.

PROPORCIONES EN PESO (KG)						
Mezcla patrón		0.5%	1%	2%	3%	4%
Aire						
Cemento	8.14	8.14	8.14	8.14	8.14	8.14
Grava	15.81	15.81	15.81	15.81	15.81	15.81
Arena	14.51	14.51	14.51	14.51	14.51	14.51
Agua	3.21	3.21	3.21	3.21	3.21	3.21
Fibra	0	0.04075	0.0808	0.1616	0.2424	0.4040
Total	41.66	41.70	41.74	41.82	41.90	42.07

Fuente: Elaboración propia (2026)

Tabla 44*Proporciones de materiales para vigas de hormigón.*

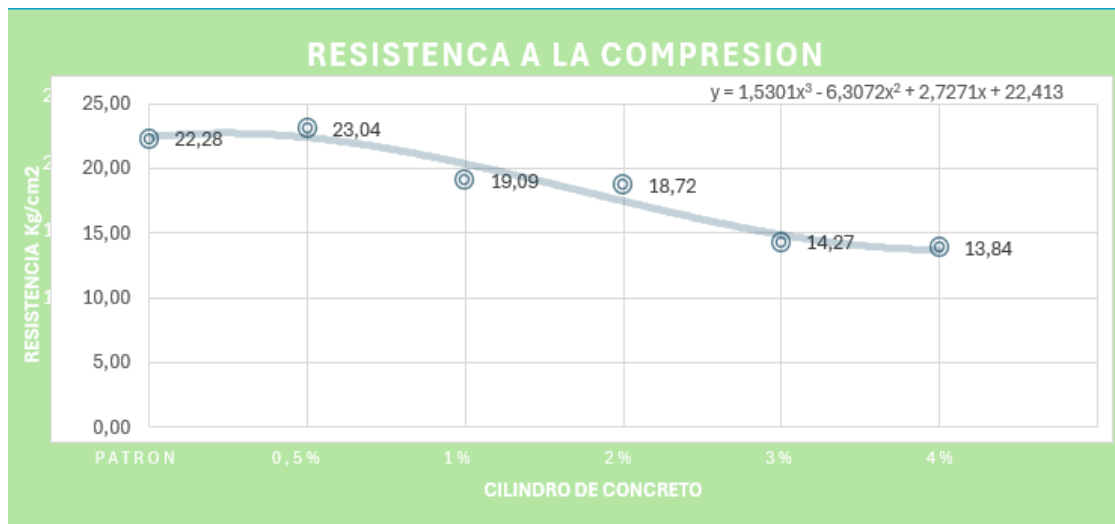
MEZCLA PATRON	PESOS	0,5%	1%	2%
AIRE				
CEMENTO	18,81	18,1	18,14	18,14
GRAVA	36,9	36,9	36,9	36,9
ARENA	34,71	34,71	34,71	34,71
AGUA	10,1	10,1	10,1	10,1
FIBRA	0	0,094	0,188	0,97
TOTAL	41,66	41,7	41,74	41,82

Fuente: Elaboración propia (2026)

4.2.19. Resultados de resistencia a la compresión**A. Resultados de la resistencia a la compresión del hormigón H240 a los 7 días.**

DETERMINACION DE RESISTENCIA A LA COMPRESION DE CILINDRO DE CONCRETO												
ROTURA DE CILINDRO DE CONCRETO									DIA 7			
DESCRIPCIO N	FECHA DE VACIADO		DIAMETRO DE CILINDRO (cm)			ALTURA (cm)	AREA (cm)	PESO (Kg)	FECH A DE ROTU RA	CARGA (KN)	RESISTE NCIA MPa	PROMEDIO
			D1	D2	PROME DIO							
PATRON	I	26-may	10,12	10,21	10,17	20,66	81,15	3,98	02-jun	170,9	21,76	22,28
	II	26-may	10,26	10,16	10,21	20,43	81,87	3,96	02-jun	176	22,41	
	III	26-may	10,22	10,25	10,24	20,57	82,27	3,64	02-jun	178,1	22,67	
0,5%	I	27-jun	10,32	10,26	10,29	20,38	83,16	3,95	03-jun	148,4	22,75	23,04
	II	27-jun	10,3	10,31	10,31	20,31	83,40	3,94	03-jun	178,5	23,48	
	III	27-jun	10,27	10,29	10,28	20,35	83,00	3,92	03-jun	124,3	22,89	
1%	I	28-may	10,21	10,27	10,24	20,38	82,35	3,95	04-jun	148,4	18,64	19,09
	II	28-may	10,33	10,34	10,34	20,31	83,89	3,94	04-jun	178,5	22,82	
	III	28-may	10,3	10,28	10,29	20,35	83,16	3,92	04-jun	124,3	15,82	
2%	I	01-jun	10,26	10,28	10,27	20,54	82,84	3,92	08-jun	144,9	18,45	18,72
	II	01-jun	10,26	10,28	10,27	20,46	82,84	3,95	08-jun	116,7	14,85	
	III	01-jun	10,32	10,36	10,34	20,36	83,97	3,93	08-jun	179,5	22,85	
3%	I	02-jun	10,22	10,23	10,23	20,43	82,11	3,94	09-jun	127,4	16,22	14,27
	II	02-jun	10,25	10,21	10,23	20,58	82,19	3,94	09-jun	108,9	13,87	
	III	02-jun	10,23	10,25	10,24	20,41	82,35	3,88	09-jun	100	12,73	
4%	I	03-jun	10,33	10,34	10,34	20,59	83,89	3,88	10-jun	140,7	17,92	13,84
	II	03-jun	10,36	10,36	10,36	20,43	84,30	3,8	10-jun	78,2	9,96	
	III	03-jun	10,23	10,25	10,24	20,66	82,35	3,92	10-jun	107	13,63	

Fuente: Elaboración propia (2026)



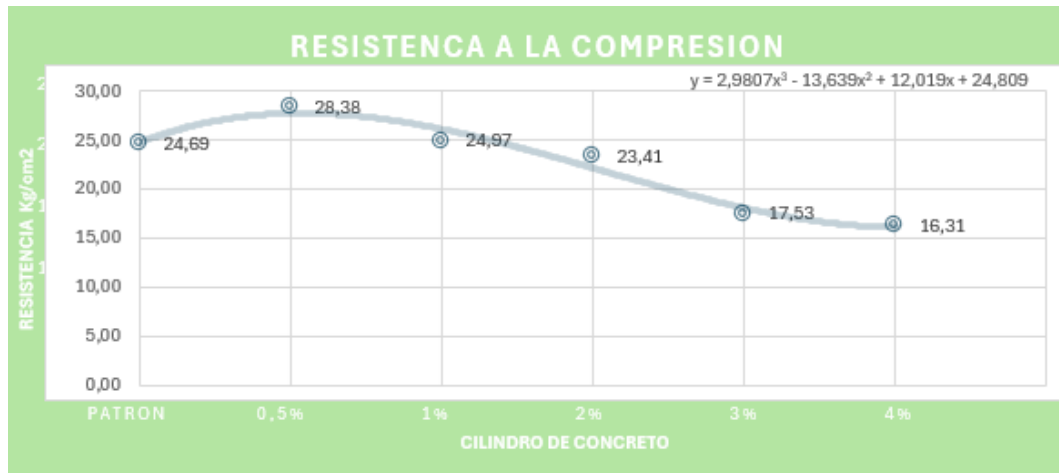
Fuente: Elaboración propia (2026)

Análisis: A los 7 días, el hormigón patrón alcanzó el 92,83 % de la resistencia de diseño. La mezcla con 0,5 % presentó el mejor comportamiento, alcanzando el 96,00 %, lo que representa un incremento del 3,41 % respecto al patrón. En cambio, las mezclas con 1 %, 2 %, 3 % y 4 % alcanzaron el 79,54 %, 78,00 %, 59,46 % y 57,67 % de la resistencia de diseño, con disminuciones del 14,32 %, 15,98 %, 35,95 % y 37,88 %, respectivamente, en comparación con el hormigón patrón.

B. Resultados de la resistencia a la compresión del hormigón H240 a los 14 días.

DETERMINACION DE RESISTENCIA A LA COMPRESION DE CILINDRO DE CONCRETO												
ROTURA DE CILINDRO DE CONCRETO										DIA 14		
DESCRIPCION		FECHA DE VACIADO	DIAMETRO DE CILINDRO (cm)			ALTURA (cm)	AREA (cm)	PESO (Kg)	FECHA DE ROTURA	CARGA (KN)	RESISTENCIA Mpa	PROMEDIO
			D1	D2	PROMEDIO							
PATRON	I	26-may	10,23	10,21	10,22	20,51	82,03	3,98	09-jun	200,1	25,58	24,69
	II	26-may	10,32	10,26	10,29	20,48	83,16	4,02	09-jun	173,1	24,52	
	III	26-may	10,32	10,25	10,29	20,34	83,08	3,94	09-jun	167,6	23,97	
0,5%	I	27-may	10,31	10,41	10,36	20,56	84,30	4	10-jun	223,5	28,45	28,38
	II	27-may	10,37	10,39	10,38	20,46	84,62	4,02	10-jun	231,1	28,4	
	III	27-may	10,37	10,26	10,32	20,56	83,57	3,9	10-jun	222,1	28,28	
1%	I	28-may	10,31	10,28	10,30	20,34	83,24	3,94	11-jun	189,8	24,17	24,97
	II	28-may	10,34	10,23	10,29	20,35	83,08	3,9	11-jun	188,1	23,95	
	III	28-may	10,37	10,31	10,34	20,41	83,97	3,94	11-jun	210,5	26,8	
2%	I	01-jun	10,35	10,14	10,25	20,42	82,44	3,92	15-jun	169,1	21,53	23,41
	II	01-jun	10,23	10,25	10,24	20,43	82,35	3,92	15-jun	188,1	21,41	
	III	01-jun	10,34	10,36	10,35	20,51	84,13	4	15-jun	314,3	27,29	
3%	I	02-jun	10,41	10,14	10,28	20,53	82,92	3,96	16-jun	156,9	19,98	17,53
	II	02-jun	10,23	10,25	10,24	20,36	82,35	3,92	16-jun	133	16,94	
	III	02-jun	10,34	10,36	10,35	20,46	84,13	3,84	16-jun	129,1	15,68	
4%	I	03-jun	10,41	10,29	10,35	20,42	84,13	4	17-jun	156,9	19,79	16,31
	II	03-jun	10,27	10,31	10,29	20,55	83,16	3,98	17-jun	133	14,5	
	III	03-jun	10,31	10,23	10,27	20,46	82,84	3,99	17-jun	129,1	14,63	

Fuente: Elaboración propia (2026)

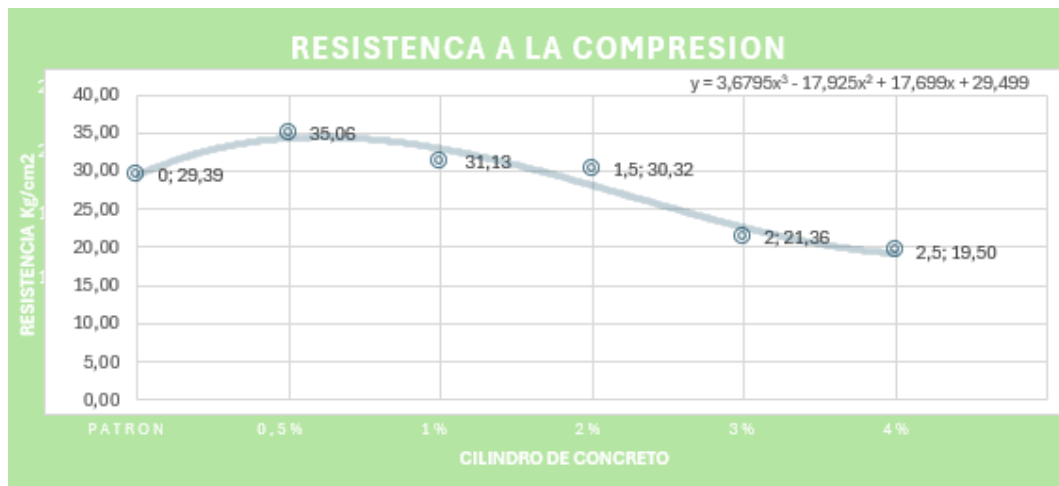


Análisis: A los 14 días, el hormigón patrón alcanzó el 102,88 % de la resistencia de diseño. La mezcla con 0,5 % obtuvo el mejor resultado con 118,25 %, equivalente a un incremento del 14,94 % respecto al patrón. La mezcla con 1 % alcanzó el 104,04 %, aumentando su resistencia en 1,13 % respecto al patrón. Por el contrario, las mezclas con 2 %, 3 % y 4 % obtuvieron el 97,54 %, 73,04 % y 67,96 % de la resistencia de diseño, registrando reducciones del 5,18 %, 29,00 % y 33,94 %, respectivamente, frente al hormigón patrón.

C. Resultados de la resistencia a la compresión del hormigón H240 a los 28 días.

DETERMINACION DE RESISTENCIA A LA COMPRESION DE CILINDRO DE CONCRETO												
ROTURA DE CILINDRO DE CONCRETO								DIA 28				
DESCRIPCIO N		FECHA DE VACIADO	DIAMETRO DE CILINDRO (cm)			ALTU RA (cm)	AREA (cm)	PESO (Kg)	FECHA DE ROTURA	CARG A (KN)	RESISTENC IA Mpa	PROMEDIO
PATRON	I	26-may	10,17	10,24	10,21	21,07	81,79	3,96	23-jun	242,4	30,86	29,39
	II	26-may	10,31	10,34	10,33	21,28	83,73	4,12	23-jun	229,2	29,19	
	III	26-may	10,25	10,34	10,30	21,38	83,24	4,02	23-jun	227,5	28,12	
0,5%	I	27-may	10,23	10,25	10,24	20,58	82,35	3,96	24-jun	277,6	35,34	35,06
	II	27-may	10,33	10,21	10,27	20,48	82,84	3,94	24-jun	264,3	33,65	
	III	27-jun	10,24	10,22	10,23	20,73	82,19	3,98	24-jun	249,7	36,18	
1%	I	28-may	10,25	10,27	10,26	20,34	82,68	3,90	25-jun	264,2	30,03	31,13
	II	28-may	10,25	10,21	10,23	22,36	82,19	3,91	25-jun	264,4	31,50	
	III	28-may	10,28	10,29	10,29	20,94	83,08	3,92	25-jun	263,5	31,86	
2%	I	01-jun	10,24	10,35	10,30	20,42	83,24	3,92	29-jun	244,5	29,18	30,32
	II	01-jun	10,30	10,27	10,29	20,54	83,08	3,96	29-jun	242,5	30,08	
	III	01-jun	10,27	10,25	10,26	20,58	82,68	3,99	29-jun	244,7	31,70	
3%	I	02-jun	10,15	10,15	10,15	20,48	80,91	3,84	30-jun	131,1	20,51	21,36
	II	02-jun	10,10	10,20	10,15	20,34	80,91	3,90	30-jun	161,1	20,51	
	III	02-jun	10,25	10,20	10,23	20,41	82,11	3,94	30-jun	181,0	23,05	
4%	I	03-jun	10,23	10,28	10,26	20,58	82,60	3,90	01-jul	122,6	15,61	19,50
	II	03-jun	10,36	10,37	10,37	20,55	84,38	3,96	01-jul	197,8	25,18	
	III	03-jun	10,28	10,30	10,29	20,28	83,16	3,84	01-jul	139,0	17,70	

Fuente: Elaboración propia (2026)



Fuente: Elaboración propia (2026)

Análisis: A los 28 días, el hormigón patrón alcanzó el 122,46 % de la resistencia de diseño. La mezcla con 0,5 % presentó el mejor desempeño con el 146,08 %, superando en 46,08 % la resistencia de diseño y mostrando un incremento del 19,29 % respecto al hormigón patrón. Las mezclas con 1 % y 2 % alcanzaron el 129,71 % y 126,33 % de la resistencia de diseño, con incrementos del 5,92 % y 3,16 %, respectivamente, en comparación con el patrón. En contraste, las mezclas con 3 % (88,58 %) y 4 % (81,25 %) no alcanzaron la resistencia de diseño y presentaron disminuciones del 27,66 % y 33,65 %, respectivamente, respecto al hormigón patrón.

Análisis General

Los resultados obtenidos evidencian que la resistencia a compresión del hormigón aumentó progresivamente con la edad de curado en todas las mezclas, debido al continuo desarrollo del proceso de hidratación del cemento. No obstante, el comportamiento mecánico estuvo influenciado por el porcentaje de incorporación de fibra de paja toquilla sometida a un tratamiento con hidróxido de sodio comercial al 50 %.

La mezcla con 0,5 % de fibra de paja toquilla tratada presentó el mejor desempeño durante todo el período de evaluación. A los 28 días alcanzó una resistencia de 35,06 MPa, equivalente al 146,08 % de la resistencia de diseño, superándola en 46,08 % y registrando un incremento del 19,29 % respecto al

hormigón patrón. Este comportamiento indica que una baja incorporación de fibras tratadas favorece la adherencia entre la fibra y la matriz cementicia, contribuyendo al incremento de la resistencia a compresión.

Las mezclas con 1 % y 2 % de fibra tratada también superaron la resistencia del hormigón patrón, con incrementos del 5,92 % y 3,16 %, respectivamente. Sin embargo, estos valores fueron inferiores a los obtenidos con la dosificación del 0,5 %, lo que evidencia que el aumento del contenido de fibra no implica necesariamente una mejora adicional en las propiedades mecánicas del hormigón.

En contraste, las mezclas con 3 % y 4 % presentaron disminuciones del 27,66 % y 33,65 %, respectivamente, respecto al hormigón patrón a los 28 días, sin alcanzar la resistencia de diseño. Este comportamiento puede atribuirse a que un mayor contenido de fibra genera una distribución menos uniforme dentro de la mezcla, incrementa la presencia de vacíos y dificulta la adecuada compactación del hormigón, afectando negativamente su resistencia a compresión.

En términos generales, los resultados permiten concluir que la incorporación de 0,5 % de fibra de paja toquilla tratada con hidróxido de sodio comercial al 50 % constituye la dosificación óptima entre las evaluadas, ya que proporciona el mayor incremento en la resistencia a compresión. Por el contrario, porcentajes superiores al 2 % reducen el desempeño mecánico del hormigón, por lo que no se recomienda su utilización cuando el objetivo es mejorar la resistencia a compresión.

4.2.20. Resultado de resistencia a flexión

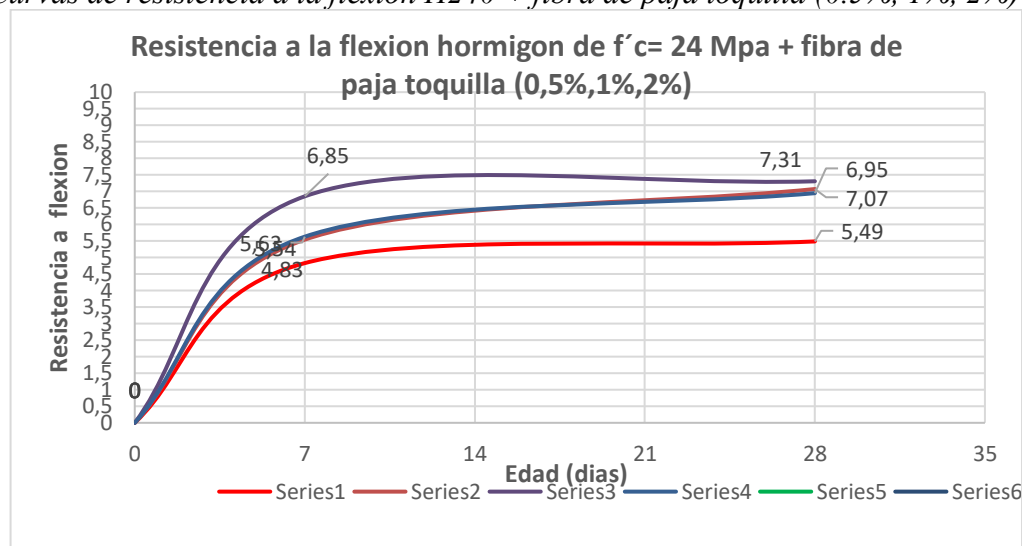
A. Resultados de la resistencia a flexión del hormigón.

IDENTIFICACION										
ID	Nº	FECHA DE VACIADO	FECHA DE ROTURA	ANCHO (d) (Cm)	ALTURA (h) (Cm)	LONGITUD TOTAL (Cm)	CARGA (KN)	LONGITUD ENTRE APOYOS (L) (cm)	MODULO DE ROTURA (Mr) (Mpa)	MODULO DE ROTURA PROMEDIO (Mr) (Mpa)
PATRON	1	26/05/2026	02/06/2026	15,6	15,2	53,3	21,68	45,30	3,89	3,89
	2	26/05/2026	23/06/2026	15,5	15	53,5	23,06	45,50	5,10	5,49
	3	26/05/2026	23/06/2026	15,5	15,1	53,5	23,94	45,50	5,87	5,49
F0,5%	4	27/05/2026	03/06/2026	15	15,4	53,8	24,27	45,80	4,95	4,95
	5	27/05/2026	24/06/2026	15	15,3	53,4	30,77	45,40	7,16	7,07
	6	27/05/2026	24/06/2026	15	15,2	53,8	31,02	45,80	6,98	7,07
F1%	7	28/05/2026	04/06/2026	15,1	15,6	53,5	30,77	45,50	5,20	5,20
	8	28/05/2026	25/06/2026	15,4	15,5	53,5	33,58	45,50	7,16	7,31
	9	28/05/2026	25/06/2026	15,5	15,4	53,4	36,04	45,40	7,45	7,31
F2%	10	01/06/2026	08/06/2026	15	15,4	53,7	28,88	45,70	3,98	3,98
	11	01/06/2026	29/06/2026	15	15,2	53,7	35,55	45,70	7,01	6,95
	12	01/06/2026	29/06/2026	15,2	15,5	53,6	34,61	45,60	6,88	6,95

Fuente: Elaboración propia (2026)

Gráfico 3.

Curvas de resistencia a la flexión H240 + fibra de paja toquilla (0.5%, 1%, 2%)



Fuente: Elaboración propia (2026)

Análisis: Los hallazgos obtenidos muestran que la resistencia a la flexión del concreto se incrementa a medida que pasa el tiempo de curado, gracias al avance del proceso de hidratación del cemento. De igual manera, la adición de fibra de paja toquilla tratada con hidróxido de sodio (NaOH) en una concentración del 50 % mejoró las propiedades mecánicas del concreto en comparación con la mezcla de referencia. La mezcla que contenía un 1 % de fibra mostró el mejor rendimiento, logrando una resistencia promedio de 5,20 MPa a los 7 días y 7,31 MPa a los 28 días, superando a la mezcla de referencia, que presentó 3,89 MPa y 5,49 MPa, respectivamente. Por otro lado, la mezcla con un 2 % de fibra alcanzó 6,95 MPa a los 28 días, un valor mayor que el de la mezcla de referencia, aunque menor que el conseguido con el 1 % de fibra.

4.3. RESULTADOS DEL OBJETIVO 3. ANALISIS ECONOMICO

Tabla 45.

Análisis de precio unitario- Patrón $F'c = 24$ Mpa.

Datos	Elaborado por:	Yajaira Tixe - Santiago Salinas			Revisado por:
	rubro:	Hormigón F'c= 24 Mpa			Ing. Dennis Rodríguez
	fecha:	29/05/2026			
ANALIS DE PRECIO UNITARIO - PATRON F'c = 24 Mpa					
UNIDAD:					M3
DETALLE: HORMIGON f'c =24Mpa					
EQUIPOS					
DESCRIPCION	CANTIDAD A	TARIFA B	HORA C=A*B	RENDIMIENTO R	COSTO D=C*R
Herramienta menor (5%)					1,41
Concretera	1,00	5,00	5,00	0,80	4,00
Vibrador	1,00	4,00	4,00	0,80	3,20
SUBTOTAL					8,61
M=					
MANO DE OBRA					
DESCRIPCION	CANTIDAD A	TARIFA B	HORA C=A*B	RENDIMIENTO R	COSTO D=C*R-
Peon	5,00	4,34	21,70	0,80	17,36
Albañil	2,00	4,39	8,78	0,80	7,02
Maestro mayor para ejecución	1,00	4,87	4,87	0,80	3,90
SUBTOTAL					28,28
M=					
MATERIALES					
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD A	PRECIO UNIT, B	COSTO C=A*B	
Cemento	Kg	400,00	0,16	64,00	
Arena	m3	0,40	20,00	8,00	
Piedra 3/4	m3	0,27	22,00	5,94	
Agua	m3	0,16	1,50	0,24	
SUBTOTAL				79,18	
M=					
MATERIALES					
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD A	PRECIO UNIT, B	COSTO C=A*B	
SUBTOTAL				0,00	
M=					
TOTAL DE COSTOS DIRECTOS X(M+N+O+P)					115,07
INDIRECTOS Y UTILIDADES.....					28,77
25,00					
OTROS INDIRECTOS %					
COSTO TOTAL DE RUBRO					143,84
VALOR OFERTADO					143,84

La Tabla 45 muestra el análisis de precio unitario para el hormigón patrón, cuya resistencia de diseño es de 24 MPa, tomando en cuenta el costo de los materiales que se utilizan para su elaboración.

Tabla 46.

Análisis de precio unitario- Patrón $F'c = 24 \text{ Mpa} + 0,5\% \text{ Fibra}$

Datos

Elaborado por:

Yajaira Tixe - Santiago Salinas

Revisado por:

Ing. Dennis Rodríguez

rubro:

Hormigón F'c= 24Mpa + % Fibra

fecha:

29/05/2026

ANALIS DE PRECIO UNITARIO - PATRON F'c = 24Mpa + 0,5%FIBRA

UNIDAD:

M3

DETALLE:

HORMIGON f'c =24Mpa

EQUIPOS

DESCRIPCION	CANTIDAD A	TARIFA B	HORA C=A*B	RENDIMIENTO R	COSTO D=C*R
Herramienta menor (5%)					1,41
Concretera	1,00	5,00	5,00	0,80	4,00
Vibrador	1,00	4,00	4,00	0,80	3,20
SUBTOTALM=					8,61

MANO DE OBRA

DESCRIPCION	CANTIDAD A	TARIFA B	HORA C=A*B	RENDIMIENTO R	COSTO D=C*R-
Peon	5,00	4,34	21,70	0,80	17,36
Albañil	2,00	4,39	8,78	0,80	7,02
Maestro mayor para ejecución	1,00	4,87	4,87	0,80	3,90
SUBTOTALM=					28,28

MATERIALES

DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD A	PRECIO UNIT, B	COSTO C=A*B
Cemento	Kg	400,00	0,16	64,00
Arena	m3	0,40	20,00	8,00
Piedra 3/4	m3	0,27	22,00	5,94
Agua	m3	0,16	1,50	0,24
Fibra	kg	2,00	0,75	1,50
SUBTOTALM=				79,68

MATERIALES

DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD A	PRECIO UNIT, B	COSTO C=A*B
SUBTOTALM=				0,00

TOTAL DE COSTOS DIRECTOS X(M+N+O+P)

116,72

INDIRECTOS Y UTILIDADES.....

29,14

25,00

OTROS INDIRECTOS

%

COSTO TOTAL DE RUBRO

145,72

VALOR OFERTADO

145,72

La Tabla 46 muestra el análisis de precio unitario para el hormigón con fibra de paja toquilla al 0,5%, cuya resistencia de diseño es de 24 MPa, tomando en cuenta el costo de los materiales que se utilizan para su elaboración.

Tabla 47.

Análisis de precio unitario- Patrón F`c= 24 Mpa + 1% Fibra

Datos	Elaborado por: Yajaira Tixe - Santiago Salinas		Revisado por:		
	rubro: Hormigón F'c= 24Mpa+1% Fibra		Ing. Dennis Rodríguez		
	fecha: 29/05/2026				
ANALIS DE PRECIO UNITARIO - PATRON F'c = 24Mpa + 1%FIBRA					
					UNIDAD: M3
DETALLE:		HORMIGON f'c =24Mpa			
EQUIPOS					
DESCRIPCION	CANTIDAD A	TARIFA B	HORA C=A*B	RENDIMIENTO R	COSTO D=C*R
Herramienta menor (5%)					1,41
Concretera	1,00	5,00	5,00	0,80	4,00
Vibrador	1,00	4,00	4,00	0,80	3,20
SUBTOTALM=					8,61
MANO DE OBRA					
DESCRIPCION	CANTIDAD A	TARIFA B	HORA C=A*B	RENDIMIENTO R	COSTO D=C*R-
Peon	5,00	4,34	21,70	0,80	17,36
Albañil	2,00	4,39	8,78	0,80	7,02
Maestro mayor para ejecución	1,00	4,87	4,87	0,80	3,90
SUBTOTALM=					28,28
MATERIALES					
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD A	PRECIO UNIT, B	COSTO C=A*B	
Cemento	Kg	400,00	0,16	64,00	
Arena	m3	0,40	20,00	8,00	
Piedra 3/4	m3	0,27	22,00	5,94	
Agua	m3	0,16	1,50	0,24	
Fibra	kg	2,00	1,25	2,50	
SUBTOTALM=					80,68
MATERIALES					
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD A	PRECIO UNIT, B	COSTO C=A*B	
SUBTOTALM=					0,00
TOTAL DE COSTOS DIRECTOS X(M+N+O+P)					117,57
INDIRECTOS Y UTILIDADES.....					29,39
25,00					
OTROS INDIRECTOS %					
COSTO TOTAL DE RUBRO					146,97
VALOR OFERTADO					146,97

La Tabla 47 muestra el análisis de precio unitario para el hormigón con fibra de paja toquilla al 1%, cuya resistencia de diseño es de 24 MPa, tomando en cuenta el costo de los materiales que se utilizan para su elaboración.

CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

- ✓ La investigación evidenció que la modificación de la fibra de paja toquilla mediante una solución de NaOH al 1,5 % aplicada a 55 °C resulta en una notable mejora de sus características, logrando un esfuerzo de $f'_t=226,71$ MPa, lo que representa un aumento del 52,78 % comparado con la fibra sin tratar de $f'_t=148,39$ MPa. Esta optimización contribuyó a mejorar el desempeño del hormigón de $f'_c=24$ MPa, resultando en la mayor resistencia a compresión con 0,5 % de fibra de $f'_c=35,06$ MPa, 19,29 % superior al estándar y la mayor resistencia a flexión con 1 % de fibra $f'_t=7,31$ MPa, 33,15 % por encima del estándar. Por otro lado, el costo del hormigón convencional se estableció en 143,84 USD/m³, siendo apenas un 1,31 % superior al hormigón reforzado con paja toquilla al 0,5% de 145,72 USD/m³ y con el 1% de fibra fue de 146,97 USD/ m³ representando un aumento del 2,18% lo que demuestra que la utilización de fibra de paja toquilla tratada representa una opción técnica, económica y sostenible para mejorar las características del hormigón.
- ✓ El tratamiento de la fibra con una solución alcalina de NaOH al 1,5 % y a una temperatura de 55 °C demostró ser la opción más eficaz, alcanzando un esfuerzo de tensión en la fibra $f_t=226,71$ MPa, lo que implica una mejora del 52,78 % en comparación con la fibra que no recibió tratamiento de $f'_t=148,39$ MPa. Además, el análisis estadístico ($P = 0,046$) corroboró que la concentración de NaOH tiene un impacto significativo en el rendimiento de la fibra, favoreciendo una adherencia optimizada con la matriz de cemento y confirmando su aptitud como refuerzo en hormigones de 24 MPa.
- ✓ La adición de fibra tratada optimizó las características mecánicas del hormigón con un 0,5 % de fibra alcanzando una $f'_c=35,06$ MPa, es decir un aumento del 19,29 % en comparación con el estándar

$f'_c=29.39$. No obstante, al incrementar el porcentaje de la fibra del 3% y 4% pierde resistencia a la compresión obteniendo $f'_c=21.36$ MPa y $f'_c=19.50$ MPa lo que demuestra que un exceso de fibra compromete la manejabilidad y afecta de forma adversa las propiedades mecánicas del hormigón y en esfuerzos a flexión con un 1 % de fibra tenemos un valor $f'_r=7.31$ MPa, un incremento del 33,15 % respecto al hormigón estándar $f'_r=5.49$ MPa. Sin embargo, al elevar la proporción a 2%, la resistencia se redujo a $f'_r=6.95$ MPa, lo que indica que este porcentaje afecto el desempeño mecánico del material bajo esfuerzo a flexión

- ✓ El análisis de precio unitario reveló que la inclusión de fibra de paja toquilla tratada conlleva un aumento marginal en los costos de producción del hormigón. El precio del hormigón convencional de $f'_c = 24$ MPa se estableció en 143,72 USD/m³, mientras que la inclusión del 0,5 % de fibra de paja toquilla tuvo un costo de 145,72 USD/m³, lo que representa un incremento de tan solo 1,89 USD/m³, equivalente al 1,31 %. Por su parte, la incorporación del 1 % de fibra de paja toquilla alcanzó un costo de 146,97 USD/m³, con un incremento de 3,14 USD/m³, correspondiente al 2,18 % respecto al hormigón convencional. Estos hallazgos evidencian que el ligero aumento en el costo se ve más que compensado por la mejora en las propiedades mecánicas y los beneficios medioambientales derivados de la utilización de una fibra natural renovable, posicionando a la fibra de paja toquilla tratada como una opción técnica, económica y sostenible para el desarrollo de hormigones de mejor desempeño.

5.2. RECOMENDACIONES

- ✓ Primero, Se sugiere llevar a cabo el tratamiento alcalino de la fibra de paja toquilla con una solución de NaOH al 1,5 %, la cual se elabora a partir de hidróxido de sodio de una concentración comercial del 50 %, y que el proceso se desarrolle a una temperatura de 55 °C, dado que esta condición resultó en el mejor rendimiento mecánico, logrando un esfuerzo promedio de $f_t=226,71$ MPa, lo que representa una mejora del 52,78 % en comparación con la fibra sin tratamiento de $f_t=148,39$ MPa. Asimismo, este parámetro superó a las otras combinaciones analizadas ($f_t=164,99$ MPa, $f_t=195,26$ MPa y $f_t=155,19$ MPa) y fue respaldado estadísticamente con un

valor $P = 0,046$, lo que confirma que esta es la opción más efectiva para optimizar la adherencia entre la fibra y la matriz cementicia.

- ✓ Segundo, Se sugiere elegir la cantidad de fibra conforme a la propiedad mecánica que se desea mejorar. Para aumentar la resistencia a la compresión, se recomienda utilizar un 0,5 % de fibra tratada, dado que logró una resistencia de $f'_c = 35,06$ MPa, lo que representa un incremento del 19,29 % en comparación con el hormigón estándar $f'_c = 29,39$ MPa. Por otro lado, si el objetivo es fortalecer la resistencia a la flexión, se aconseja aplicar un 1 % de fibra, ya que alcanzó el máximo valor de $f'_r = 7,31$ MPa, reflejando un aumento del 33,15 % respecto al estándar $f'_r = 5,49$ MPa. De igual manera, se aconseja no superar las dosificaciones del 2 %, ya que con un 3 % y un 4 % la resistencia se redujo a $f'_c = 21,36$ MPa y $f'_c = 19,50$ MPa, respectivamente, impactando de manera negativa en el rendimiento del hormigón.
- ✓ Tercero, Se sugiere llevar a cabo una evaluación técnica y financiera previo a la inclusión de fibra de paja toquilla en proyectos de construcción, dado que la combinación con un 0,5 % de fibra mostró un costo de 145,72 USD/m³, lo que representa un aumento de solo 1,89 USD/m³ (1,31 %) en comparación con el hormigón convencional (143,83 USD/m³). Este incremento es insignificante en relación a la mejora observada en la resistencia a la compresión, que alcanzó los 35,06 MPa. De este modo, se puede asegurar que la mezcla elegida aporte ventajas tanto mecánicas como económicas sin comprometer la calidad del hormigón.
- ✓ Se recomienda desarrollar futuras investigaciones orientadas a evaluar el comportamiento de la fibra de paja toquilla a 3cm de largo tratada en hormigones de diferentes resistencias de diseño y analizar su desempeño a largo plazo mediante ensayos de durabilidad, permeabilidad y resistencia frente a agentes ambientales. Esto permitirá verificar si las mejoras obtenidas a los 28 días de curado se mantienen durante la vida útil de la estructura y ampliar el campo de aplicación de este material como refuerzo sostenible en distintos tipos de hormigón.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ACI Comite 544. . (2022). *State of the Art Report on Fiber Reinforced Concrete Reported (ACI 544.1R-96 Reapproved 2002)*. Obtenido de ACI Structural Journal, 96(Reapproved), 66.:
<https://www.studocu.com/pe/document/universidad-peruana-de-ciencias-aplicadas/construccion-i/aci-report-aci-committee-544/54183586>
- ACI. (2013). *ACI Concrete Terminology*. Obtenido de www.concrete.org
- Aguilar, M. (2009). *Tejiendo la vida... los sombreros de paja toquilla en ecuador*. Obtenido de chrome-extension://efaidnbmnnnibphttp://documentacion.cidap.gob.ec:8080/bitstream/cidap/1286/1/Los%20sombros%20de%20paja%20toquilla_Mar%C3%ADa%20Leonor%20Aguilar.pdf
- Al-Dala'ien, R., Syamsir, A. ., Abu, M., Usman, F., & Abdullah, M. (2023). *Failure Modes Behavior of Different Strengthening Types of RC Slabs Subjected to Low-Velocity Impact Loading*. Obtenido de A Review. Journal of Composites Science 2023, Vol. 7, Pag 246, 7(6), 246.:
<https://www.mdpi.com/2504-477X/7/6/246>
- Alejandro, E., & Merchan, C. (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*. . Obtenido de Universidad Estatal Península de Santa Elena: chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://repositorio.upse.edu.ec/server/api/core/bitstreams/2e808cd0-a3cc-4f23-862a-aa49a75329c8/content
- Alloza, G. &. (2012). *EL ENSAYO DE TRACCIÓN INDIRECTA*. Obtenido de EL ENSAYO DE TRACCIÓN INDIRECTA: chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://upcommons.upc.edu/server/api/core/bitstreams/10e444d5-18e6-4b7a-861f-04ccf8004bf6/content

- Anthony, R., Awasthi, S., Singh, A., & Prasath, K. V. (2020). *An Experimental and Characteristic Study of Abaca Fiber Concrete*. . Obtenido de IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 912(3), 032077.
- ASTM C1157. (2008). *Performance Specification for Hydraulic Cement*. . Obtenido de ASTM International.: <https://doi.org/10.1520/C1157-08A>
- ASTM C127. . (2024). *Standard Test Method for Relative Density (Specific Gravity) and Absorption of Coarse Aggregate*. . Obtenido de 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*. Obtenido de ASTM International.: <https://doi.org/10.1520/C0128-22>
- ASTM C136. . (2014). *Test Method for Sieve Analysis of Fine and Coarse Aggregates*. . Obtenido de ASTM International. : https://doi.org/10.1520/C0136_C0136M-14
- ASTM C1602. (2022). *Specification for Mixing Water Used in the Production of Hydraulic Cement Concrete*. . Obtenido de ASTM International. : https://doi.org/10.1520/C1602_C1602M-22
- ASTM C33. (2018). *Specification for Concrete Aggregates*. *ASTM International*. . Obtenido de https://doi.org/10.1520/C0033_C0033M-18
- ASTM C39/C39M. (2021). *Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens*. *ASTM International*. Obtenido de https://doi.org/10.1520/C0039_C0039M-21
- ASTM C496. (1996). *Standard Test Method for Splitting Tensile Strength of Cylindrical Concrete Specimens*. Obtenido de ASTM International. : <https://doi.org/10.1520/C0496-96>
- ASTM C566. . (2019). *Standard Test Method for Total Evaporable Moisture Content of Aggregate by Drying*. . Obtenido de ASTM International. : <https://doi.org/10.1520/C0566-19>
- ASTM C78. . (2009). *Standard Test Method for Flexural Strength of Concrete (Using Simple Beam with Third-Point Loading)*. Obtenido de ASTM International.: <https://doi.org/10.1520/C0078-09>
- Barros, D., & Larrea Carpio, J. (2025). *Análisis comparativo entre un hormigón convencional en relación a uno reforzado con fibra de vidrio en pavimentos vehiculares*. Obtenido de Universidad Politécnica Salesiana:

- https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/16560/simple-search?query=&sort_by=score&order=desc&rpp=10&filter_field_1=carre-ra&filter_type_1>equals&filter_value_1=Ingenier%C3%ADa+Civil&filter_field_2=sede&filter_type_2>equals&filter_value_2=Sede+Guayaquil&
- Bastidas, E., & Verdezoto, J. (2021). *“Efecto de fibras naturales de Carludovica palmata (paja toquilla) en resistencia a compresión y flexión en hormigones simples de 21 MPA.”*. Obtenido de <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/20267>
- Becerra, J. (11 de 2019). *Conceptos básicos de materiales de ingeniería*. Obtenido de https://www.researchgate.net/figure/Figura-23-Patrones-de-fractura-tipicos-en-probetas-de-Hormigón-Fuente-ICONTEC-2010_fig10_342314228
- Becerra, J., Monroy, É., Rojas, D., Espitia, M., & Tovar, J. (2020). *Conceptos básicos de materiales de ingeniería*. . Obtenido de <https://libros.jdc.edu.co/index.php/editorial/catalog/book/40>
- BECOSAN. (2025). *¿Por qué el hormigón tiene arena?* Obtenido de ¿Por qué el hormigón tiene arena?: <https://www.becosan.com/es/faq/por-que-el-hormigón-tiene-arena/>
- Benítez, I. (2021). *“Materiales compuestos cementicios reforzados con tejidos de fibra natural aplicados en estructuras de hormigón armado, estudio de revisión.”*. Obtenido de “Materiales compuestos cementicios reforzados con tejidos de fibra natural aplicados en estructuras de hormigón armado, estudio de revisión.”: <chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/http://dspace.unach.edu.ec/bitstream/51000/9055/1/6.%20MATERIALES%20COMPUESTOS%20CEMENTICIOS%20REFORZADOS%20CON%20TEJIDOS%20DE%20FIBRA%20NATURAL%20APLICADOS%20EN%20ESTRUCTURAS%20DE%20HORMIG%C3%93N%20ARMA>
- Benítez, I. (2021). *Materiales compuestos cementicios reforzados con tejidos de fibra natural aplicados en estructuras de hormigón armado, estudio de revisión.* . Obtenido de Materiales compuestos cementicios reforzados con tejidos de fibra natural aplicados en estructuras de hormigón armado, estudio de revisión.”: <chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/http://dspace.unach.edu.ec/>

bitstream/51000/9055/1/6.%20MATERIALES%20COMPUESTOS%20C
EMENTICIOS%20REFORZADOS%20CON%20TEJIDOS%20DE%20FI
BRA%20NATURAL%20APLICADOS%20EN%20ESTRUCTURAS%20
DE%20HORMIG%C3%93N%20ARMA

Brito, J., & Castro, S. (2017). *Influencia de la calidad de los agregados en la resistencia del hormigón*. Obtenido de Universidad Politecnica Salesiana: <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/14751>

Cárdenas, M. (2016). *Obtención de aislados proteicos de chía (Salvia hispánica L.) y evaluación in vitro de su digestibilidad gastrointestinal, actividad antiinflamatoria y antioxidante*. Obtenido de Universidad Técnica de Ambato.: <https://repositorio.uta.edu.ec/items/a5bdb270-f66b-41e4-9217-a75da1f35796>

Carles, R. (s.f.). *El hormigón: breve reseña historica de un material milenario*. Obtenido de chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/<https://pdfs.semanticscholar.org/736b/45f91ed3dd00813088d272f59f72ae3bab4c.pdf>

Carrillo, J., Aperador, W., & González, G. (2013). *Correlaciones entre las propiedades mecánicas del Hormigón reforzado con fibras de paja toquilla. XIV, 437–452*. Obtenido de <https://www.elsevier.es/es-revista-ingenieria-investigacion-tecnologia-104-pdf-S140577431372256X>

Chalén, M. (2018). *El sombrero de paja toquilla ha sido mundialmente Conocido y utilizado por distintas celebridades*. . Obtenido de chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglhttp://dspace.unach.edu.ec/bitstream/51000/13184/1/Arteaga%20G.%2C%20%282024%29%20Propuesta%20de%20un%20prototipo%20de%20panel%20de%20tabiquer%C3%ADa%20desarrollado%20con%20paja%20toquilla%20como%20alter

Chariguaman, A. (2 de 2024). *ESTUDIO DEL HORMIGÓN CON FIBRAS NATURALES DE ABACÁ COMO COMPONENTE EN LA DOSIFICACIÓN, CON TRATAMIENTO QUÍMICO*. Obtenido de ESTUDIO DEL HORMIGÓN CON FIBRAS NATURALES DE ABACÁ COMO COMPONENTE EN LA DOSIFICACIÓN, CON TRATAMIENTO QUÍMICO: chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/<https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/25647/1/CD%2014295.pdf>

- Chávez, G., Yáñez, A., Cabrera, D., López, C., Cabrera, F., & Arroyo, J. (2019). *Determinación de cantidad óptima de Fibra de paja toquilla para la elaboración de hormigón de cemento portland para losas de pavimentos rígidos*. Obtenido de Proceedings of the LACCEI International Multi-Conference for Engineering, Education and Technology, 2019-July: <https://laccei.org/LACCEI2019-MontegoBay/meta/FP363.html>
- Cuenca, E. (2021). *Hormigones reforzados con fibras de paja toquilla. Conceptos fundamentales y aplicaciones estructurales*. Obtenido de Revista Hormigón 60.: [https://revistahormigón.org/hormigones-reforzados-con-fibras-de-paja toquilla-conceptos-fundamentales-y-aplicaciones-estructurales/](https://revistahormigón.org/hormigones-reforzados-con-fibras-de-paja-toquilla-conceptos-fundamentales-y-aplicaciones-estructurales/)
- DEPAJA TOQUILLA. . (13 de Enero de 2022). *Inicios de la Fibra de paja toquilla*. Obtenido de https://www.patrimoniocultural.gob.ec/wp-content/uploads/2023/03/20_elsombrerodepajatoquillainpc2012.pdf
- Figueroa, M. (2013). *Comparativa de la Tenacidad entre hormigón convencional, hormigón reforzado con fibras de Paja toquilla y hormigón reforzado con fibras de Polipropileno*. Obtenido de Universidad Politécnica de Madrid: <https://repositorio.unc.edu.pe/bitstream/20.500.14074/4470/1/Tesis%20Evaluacion%20de%20la%20influencia%20de%20la%20dosificacion%20y%20esbeltez%20de%20fibras%20de%20paja toquilla%20en%20los%20resultados%20del%20ensayo%20barcelona%20del%20Hormigón%20reforzado%20con>
- Garces, M. (2021). *Cemento: mezcla de caliza y arcilla*. Obtenido de <https://es.scribd.com/document/190906195/El-Cemento-Es-Un-Conglomerante-Formado-a-Partir-de-Una-Mezcla-de-Caliza-y-Arcilla-Calcinadas-y-Posteriormente-Molidas>
- Garces-Garces, Ingris Daniela. (2024). *Revitalización de Cravo Norte: desarrollo económico y cultural con un centro de costumbres llaneras*. Obtenido de Revitalización de Cravo Norte: desarrollo económico y cultural con un centro de costumbres llaneras: <https://repository.ucatolica.edu.co/entities/publication/f4e383ac-b1e7-4682-96ca-42c72b6da9c6>
- Garrote, E. (2006). *El ensayo de tracción indirecta*. Obtenido de <https://upcommons.upc.edu/server/api/core/bitstreams/10e444d5-18e6->

4b7a-861f-04ccf8004bf6/content

- Gonzalez, E. &. (23 de Septiembre de 2025). *Ensayos de hormigón endurecido. Resistencia a tracción indirecta de problema* . Obtenido de Ensayo Brasileiro. 1–4.:
https://campusvirtual.ull.es/ocw/pluginfile.php/2094/mod_page/content/3/FichasTemas/tema15-brasileno.pdf
- González, M. (2017). *Análisis de fractura en ensayos de compresión para materiales compuestos utilizando pruebas ópticas no destructivas*. Obtenido de
<https://cio.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1002/360/1/17276.pdf>
- Guarderas, A. (24 de Agosto de 2025). *Hormigón - Excelencia en la construcción* . Obtenido de Revista CLAVE!: <https://www.clave.com.ec/hormigón-excelencia-en-la-construccion/>
- Heras, J. (1990). *Hormigón reforzado con fibras de paja toquilla, usos y propiedades*. Obtenido de Universidad Nacional Autonoma de Mexico:
[https://repositorio.unam.mx/contenidos/Hormigón-reforzado-con-fibras-de-paja toquilla-usos-y-propiedades-345181?c=eg45vm&d=false&q=*&i=16&v=1&t=search_0&as=0](https://repositorio.unam.mx/contenidos/Hormigón-reforzado-con-fibras-de-paja-toquilla-usos-y-propiedades-345181?c=eg45vm&d=false&q=*&i=16&v=1&t=search_0&as=0)
- Isostatika. (2 de 09 de 2021). *TIPOS DE FISURAS EN EL HORMIGÓN ARMADO*. Obtenido de TIPOS DE FISURAS EN EL HORMIGÓN ARMADO: <https://isostatika.com/blog/fisuras-hormigón/>
- Juárez, C. A., & Rodríguez, P. (2004). *Uso de fibras naturales de lechuguilla como refuerzo en Hormigón*. Obtenido de
<http://eprints.uanl.mx/10131/1/usodefibras.PDF>
- Latorre, H. (2024). *Avances en el Uso del Hormigón Armado en Ingeniería Civil: Una revisión sistemática. Magazine de Las Ciencias*. Obtenido de Revista de Investigación e Innovación, 9(3), 47–68. :
<https://doi.org/10.33262/RMC.V9I3.3161>
- Lehne & Preston . (24 de 10 de 2023). *GEA*. Obtenido de GEA:
<https://www.gea.com/es/stories/kick-start-to-carbon-capture/>
- Lehne, J., & Preston, F. (2018). *Making Concrete Change: Innovation in Low-carbon Cement and Concrete | Chatham House – International Affairs Think Tank*. Obtenido de <https://www.chathamhouse.org/2018/06/making->

concrete-change- innovation-low-carbon-cement-and-concrete

- León, L., & Rodriguez, C. (2022). *Factores que influyen en la resistencia a la compresión del hormigón*. . Obtenido de 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*. . Obtenido de Materials, 12(15), 2470.: <https://www.mdpi.com/1996-1944/12/15/2470>
- Li, Y., Zhang, Q., Kamiński, P., Deifalla, A., Sufian, M., Dyczko, A., . . . Atig, M. (2022). *Compressive Strength of Steel Fiber-Reinforced Concrete Employing Supervised Machine Learning Techniques*. . Obtenido de Materials, 15(12), 4209. : <https://www.mdpi.com/1996-1944/15/12/4209>
- Maldonado, A. (2023). *Patrones fractales basado en lacarludovica palmata(paja toquilla). Aplicación en sombreros de paja toquilla*. Obtenido de <https://dspace.esPOCH.edu.ec:8080/server/api/core/bitstreams/a0e0a55b-e3a2-4b7c-be8d-78648f5877bb/content>
- Mármol, P. (2010). *Hormigones con fibra de paja toquilla*. Obtenido de HORMIGONES CON FIBRA DE PAJA TOQUILLA:
<https://oa.upm.es/4510/>
- Mármol, P. (2010). *Hormigones con fibras de paja toquilla: Características mecánicas*. Obtenido de <https://oa.upm.es/4510/>
- 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. Obtenido de https://rraae.cedia.edu.ec/vufind/Record/UPSE_a079f9b0a5ef0ecea7ca4a24f93f788b?sid=3019202&lng=es
- Moreno, E., Solis, R., Varela, J., & Gómez, M. (2016). *Resistencia a tensión del Hormigón elaborado con agregado calizo de alta absorción*. . Obtenido de Scielo:
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 Hormigón*. . Obtenido de www.nrmca.org.
- Navarro, A., & Bonet, J. (2019). *Improving the seismic behaviour of reinforced*

concrete moment resisting frames by means of SMA bars and ultra- high performance concrete. . Obtenido de Engineering Structures, 197, 109409.: <https://riunet.upv.es/entities/publication/45d688f3-17c0-4f09-9626-916d8c165f00>

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

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).* Obtenido de <https://es.scribd.com/document/398327295/2554-vigas-hormigón>

NTE INEN 2617. . (2012). *Hormigón de cemento hidráulico. Agua para mezcla.* Obtenido de <https://es.scribd.com/document/192763819/Agua-Para-Mezcla-2617-012>

NTE INEN 696. (2011). *Áridos. Análisis Granulométrico en los agregados fino y grueso.* Obtenido de <https://www.studocu.com/ec/document/universidad-central-del-ecuador/ensayo-de-materiales/nte-inen-696-p5-granulometria/22646391>

NTE INEN 856. . (2010). *Áridos. Determinación de la densidad, Densidad relativa (Gravedad Específica) y Absorción del árido fino.* Obtenido de <https://es.scribd.com/document/769846574/INEN-856-Densidad-Relativa-y-Absorcion-Del-Arido-Fino>

NTE INEN 857. . (2010). *Áridos. Determinación de la densidad, Densidad relativa (Gravedad Específica) y Absorción del árido grueso.* Obtenido de <https://www.studocu.com/ec/document/universidad-tecnica-particular-de-loja/tecnologia-de-materiales/norma-inen/109741985>

NTE INEN 862. (2011). *Áridos para hormigón. Determinación del contenido total de humedad.* Obtenido de <https://es.scribd.com/document/880376000/ENSAYO-CONTENIDO-DE-HUMEDAD-FINO-Y-GRUESO>

Palacios, C. (2016). *Los sombreros de paja toquilla.* Obtenido de <https://repositorio.usfq.edu.ec/bitstream/23000/5084/1/106675.pdf>

Parrales et al. (2023). *Composici n de mezclas de agregados gruesos y finos en la*

- resistencia a la compresión y porosidad del hormigón*. Obtenido de <https://polodelconocimiento.com/ojs/index.php/es/article/view/6227/html>
- Peña, D., Rodríguez, J., & Salcedo, D. S. (2022). *Estimación de daños ocasionados por la carbonatación en estructuras de Hormigón armado en la Ciudad de Nirgua*. Obtenido de *Gaceta Técnica*, 23(2), 88-106: <https://www.redalyc.org/journal/5703/570371887007/html/>
- Robayo, C. (2022). Análisis comparativo entre hormigón tradicional y hormigón con fibra de paja toquilla y. *Análisis comparativo entre hormigón tradicional y hormigón con fibra de paja toquilla y*, 8(2), 1315-1333. doi: <http://dx.doi.org/10.23857/dc.v8i2.2707>
- Robuschi, S., Ivanov, O., Geiker, M., Fernandez, I., & Lundgren, K. (30 de Diciembre de 2023). *Impact of cracks on distribution of chloride-induced reinforcement corrosion*. . Obtenido de *Materials and Structures/Materiaux et Constructions*, 56(1), 1–22.: <https://link.springer.com/article/10.1617/s11527-022-02085-6>
- Romea, C. (2014). *El hormigón: breve reseña histórica de un material milenario*. . Obtenido de *In Aplicaciones avanzadas de los materiales compuestos en la obra civil y la edificación* (pp. 1–18). OmniaScience.: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8588956>
- Santos, L. (2006). *Contribución de fibras PP provenientes de plásticos reciclados en el agrietamiento y resistencia del Hormigón en pavimentos portuarios de Veracruz*. . Obtenido de *Universidad de Veracruz*: <https://cdigital.uv.mx/home>
- Sanz, U., & Ulzurrun, C. (2017). *Caracterización del comportamiento en flexión del hormigón reforzado con fibras sometido a impacto*. . Obtenido de *Hormigón y Paja toquilla*, 68(282), 139–145.: <https://www.hormigónypaja.toquilla.com/index.php/ache/article/view/1854>
- Silva, L. (2014). *Comportamiento del hormigón reforzado con fibras de paja toquilla y su influencia en sus propiedades mecánicas en el cantón Ambato, provincia de Tungurahua*. Obtenido de *Universidad Técnica de Ambato*: <https://repositorio.uta.edu.ec/items/45b7980d-aea3-48ea-846e-c794374abdb4>
- Suvash, P., Van, G., & Branko, Š. (2020). *Effect of Fibers on Durability of Concrete*. . Obtenido de *A Practical Review. Materials* 2020, Vol. 13,

- Varas, M.J.; Álvarez de Buergo, M.; & Fort, R. (12 de 2013). Piedras artificiales: morteros y hormigones. El cemento como máximo representante de estos materiales de construcción. *Piedras artificiales: morteros y hormigones. El cemento como máximo representante de estos materiales de construcción*. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/258615138_Evolution_in_the_use_of_natural_building_stone_in_Madrid_Spain
- Vega, C., Mendoza, C., De La Cruz Vega, S., Lavado, J., & Huaman, D. (2025). *Evaluación comparativa de cementos Portland tipo I: implicaciones técnicas para la industria de la construcción*. . Obtenido de Revista Athenea, 6,: https://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2737-64192025000200043
- Yepes, V. (19 de 8 de 2025). *Preguntas frecuentes sobre el hormigón reforzado con fibras*. Obtenido de Preguntas frecuentes sobre el hormigón reforzado con fibras: <https://victoryepes.blogs.upv.es/2025/08/19/preguntas-frecuentes-sobre-el-hormigón-reforzado-con-fibras/#:~:text=1.,y%20evitan%20el%20colapso%20fr%C3%A1gil>.
- Yugcha T. (2025). *Comportamiento mecánico de hormigones reforzados con fibras de carrizo y paja*. Obtenido de [file:///C:/Users/USER/Desktop/Yugcha%20T.,%20Cristian%20P.%20\(2025\)%20Comportamiento%20mec%C3%A1nico%20de%20hormigones%20reforzados%20con%20fibras%20de%20carrizo%20y%20paja.pdf](file:///C:/Users/USER/Desktop/Yugcha%20T.,%20Cristian%20P.%20(2025)%20Comportamiento%20mec%C3%A1nico%20de%20hormigones%20reforzados%20con%20fibras%20de%20carrizo%20y%20paja.pdf)

ANEXOS

ANEXO 1.

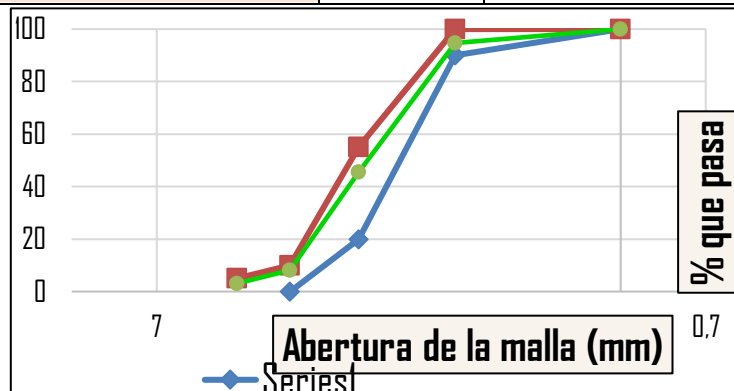
Ensayo de granulometría de agregado grueso

GRANULOMETRÍA AGREGADO GRUESO													
TAM IZ	ABERTU RA	W PARCIAL	% RETENID O	% RETENID O ACUMULA DO	% QUE PASA	ESPECIFICACIONES A.S.T.M							
						N.º 56		N.º 57		N.º 6		N.º 67	
2"	50	0	0,00	0,00	100,00								
1 1/2"	37.5	0	0,00	0,00	100,00	10 0	10 0	10 0	10 0				
1"	25	1.796,000	17,96	17,96	82,04	90	10 0	95	10 0	10 0	10 0	10 0	10 0
3/4"	19	3.217,000	32,17	50,13	49,87	40	85	--- --	--- --	90	10 0	90	10 0
1/2"	12.5	3.552,000	35,52	85,66	14,34	10	40	25	60	20	55	--- --	--- --
3/8"	9.5	1.072,000	10,72	96,38	3,62	0	15	--- --	--- --	0	15	20	55
N.º 4	4.75	307,500	3,08	99,45	0,55	0	5	0	10	0	5	0	10
Nº8	2.36	9,900	0,10	99,55	0,45			0	5			0	5
Nº16	1,18	6,400	0,06	99,62	0,38								
FONDO		38,400	0,38	100,00	0,00								
TOTAL		9999,2	100,00										

Requisito para que se cumpla el módulo de finura en agregado grueso entre 5 y 7 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	6,49	SI



ANEXO 2.

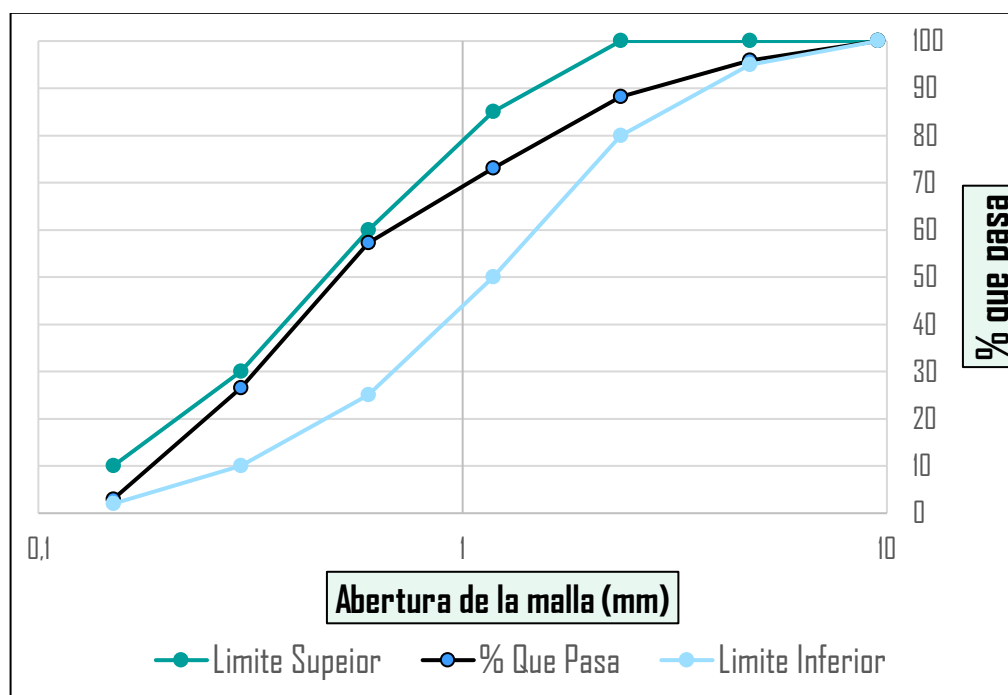
Ensayo de granulometría de agregado fino

GRANULOMETRÍA AGREGADO FINO							
GRANULOMETRÍA AGREGADO FINO							
TAMIZ	ABERTURA	W PARCIAL	% RETENIDO	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA	ESPECIFICACIÓN A.S.T.M	
3/8"	9.5	0	0.00	0.00	100.00	100	100
Nº 4	4.75	78	4.07	4.07	95.93	95	100
Nº 8	2.36	148.6	7.76	11.83	88.17	80	100
Nº 16	1.18	289.2	15.10	26.93	73.07	50	85
Nº 30	0.6	304	15.87	42.80	57.20	25	60
Nº 50	0.3	588.5	30.72	73.52	26.48	10	30
Nº 100	0.15	450.6	23.52	97.05	2.95	2	10
FONDO		56.6	2.95	100.00	0.00	0	0
TOTAL		1915.500	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?
Modulo de Finura	2,56	si



ANEXO 3.

Ensayo de densidad y absorción del agregado grueso.

AGREGADO GRUESO					
PESO VOLUMÉTRICO SUELTO			PESO VOLUMÉTRICO VARILLADO		
VOLUMEN	0,009737	m3	VOLUMEN	0,009737	m3
P.V.S + RECIPIENTE	20,35	kg	P.V.V + RECIPIENTE	23,44	kg
RECIPIENTE	10,94	kg	RECIPIENTE	10,94	kg
PESO	9,41	kg	PESO	12,5	kg
P.V.S	966,43	kg/m3	P.V.V	1283,78	kg/m3

DENSIDAD SATURADA SUPERFICIALMENTE SECA (D.S.S.S)		
P.S.S.S.	2000	gr
W(canastilla sumergida)	1053	gr
W(canastilla sumergida + material)	2296	gr
W(canastilla sumergida + material) - W(canastilla)	1243	gr
VOLUMEN	1038,89	cm3
D.S.S.S.	1,93	gr/cm3
	1925,13	kg/m3

PESO GRAVA SATURADA (gr)	PESO GRAVA SECA (gr)	AGUA DESALOJADA	% Absorción
1973,36	1935,36	38	1,96

ANEXO 4.

Ensayo de densidad y absorción del agregado fino.

AGREGADO FINO					
PESO VOLUMÉTRICO SUELTO			DENSIDAD SATURADA SUPERFICIALMENTE SECA		
VOLUMEN	0,002925	m3	P.S.S.S.	500	gr
P.V.S + RECIPIENTE	8,53	kg	LECTURA INICIAL	200	gr
RECIPIENTE	4,42	kg	LECTURA FINAL	391	gr
PESO	4,11	kg	W Desalojado	191	gr
P.V.S	1405,17	kg/m3	V Desalojado	191	cm3
D.S.S.S.			2,62	gr/cm3	2617,80
					kg/m3

PESO ARENA SATURADA (gr)	PESO ARENA SECA (gr)	AGUA DESALOJADA	% Absorción
419,2	425,6	-6,4	-1,50

ANEXO 5.

Ensayo de contenido de humedad del agregado fino y grueso.

HUMEDAD DE ARENA		HUMEDAD DE GRAVA	
RECIPIENTE	P	RECIPIENTE	CH
W RECIPIENTE (gr)	46,200	W RECIPIENTE (gr)	163,900
W ARENA+ R	504,300	W GRAVA + R	2436,100
W ARENA SECA+ R	470,100	W GRAVA SECA+ R	2433,400
W de AGUA	34,200	W de AGUA	2,700
W ARENA SECA	423,900	W GRAVA SECA	2269,500
HUMEDAD	8,07	HUMEDAD	0,12

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	3,00	
Peso volumétrico de la arena	1405,17	kg/m ³
D.S.S.S. de la arena	2617,80	Kg/m ³
Absorción de la arena	-1,50	%
Humedad de la arena	8,07	%
GRAVA		
Peso volumétrico suelto de la grava	966,43	kg/m ³
Peso volumétrico varillado de la grava	1283,78	kg/m ³
D.S.S.S. de la grava	1925,13	kg/m ³
Tamaño máximo NOMINAL de la grava	19,05	mm
Absorción de la grava	1,96	%
Humedad de la grava	0,12	%

ANEXO 7.*Dosificación de hormigón $f'c=240\text{kg/cm}^2$* **DISEÑO DE HORMIGÓN HIDRÁULICO**

F'c	240	kg/cm2
Desviación	85	
F'cr (sin aire)	325	kg/cm2
F'cr (con aire)	0	kg/cm2
Revenimiento	10,00	cm

AGUA

Tamaño máximo de la grava	
19,05	Mm

CANTIDAD DE AGUA		AIRE ATRAPADO	
205	kg/m3	2	%

Relación a/c	0,52
CANTIDAD DE CEMENTO	
396,98	kg/m3

AGREGADO GRUESO

Tabla A5.	MF arena	P.V.V.	
0,600	3,55	1283,78	kg/m3

CANTIDAD DE GRAVA	
770,27	kg/m3

CALCULO DE CANTIDAD DE AGREGADO FINO

Cantidad de Materiales para 1 m³ de hormigón

	W (kg)	D (kg/m ³)	V (m ³)	Corrección 60-40 de agregados		
Agua	205	1000	0,205	Agreg.Total	1474,10	kg
Cemento	396,98	3150	0,126	Arena	589,64	kg
Grava	770,27	1925,13	0,400	Grava	884,46	kg
Arena	703,83	2617,80	0,269			
Aire	0	0	0,020			
			1,020			

ANEXO 8.

Corrección por humedad y absorción de agregados.

CORRECCION POR HUMEDAD Y ABSORCION										
	Humedad			Absorción						
	W (kg)	%	kg	%	kg	Diferencia	W (kg)	D (kg/m ³)	V (m ³)	%propor V
AIRE									0,020	2,0
CEMENTO	396,98						396,98	3150	0,126	12,7
GRAVA	770,27	0,12	0,92	1,96	-15,12	-14,21	771,18	1925,13	0,401	40,5
ARENA	703,83	8,07	56,78	-1,50	10,58	67,37	760,62	2617,80	0,291	29,4
AGUA	205		-57,70		4,54	53,16	151,84	1000	0,152	15,4
TOTAL	2076,08	Para un metro cúbico					2080,62		0,989	100,00
				AGUA EFECTIVA		151,84				

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

Datos cilindro		
Pi	3,14156	
Radio	0,05	m
$A = \text{Pi} \cdot r^2$	0,007854	m ²
h	0,2	m
V. cilindro	0,001571	m ³
# cilindros	9	unidades
Volumen Cilindro	0,01414	m ³

	# Cilindros
	9
Volumen requerido	0,020499
Volumen con desperdicios	1,45

ANEXO 10.*Cantidad de fibra.*

	FIBRA DE PAJA		
	%DE FIBRA	W(g)	
	0,5	0,4	
	1	0,81	
	2	161,6	
	3	242,4	
	4	323,2	

*Roturas de cilindro de hormigón muestra H240 patrón- Ensayo de compresión
7días.*

Roturas de cilindro de hormigón muestra H240 patrón- Ensayo de compresión 14 días.

Roturas de cilindro de hormigón muestra H240 patrón- Ensayo de compresión 28 días.

DETERMINACION DE RESISTENCIA A LA COMPRESION DE CILINDRO DE CONCRETO												
ROTURA DE CILINDRO DE CONCRETO										DIA 28		
DESCRIPCION	FECHA DE VACIADO		DIAMETRO DE CILINDRO (cm)			ALTURA (cm)	AREA (cm²)	PESO (Kg)	FECHA DE ROTURA	CARGA (KN)	RESISTENCIA Mpa	PROMEDIO
			D1	D2	PROMEDIO							
PATRON	I	20-abr	10,17	10,24	10,21	21,07	81,79	3,96	04-may	242,4	30,86	29,39
	II	20-abr	10,31	10,34	10,33	21,28	83,73	4,12	04-may	229,2	29,19	
	II	20-abr	10,25	10,34	10,30	21,38	83,24	4,02	04-may	227,5	28,12	

ANEXO 12.

Roturas de cilindros de hormigón con 0.5% de fibra de paja toquilla-Ensayo de compresión 7 días.

DETERMINACION DE RESISTENCIA A LA COMPRESION DE CILINDRO DE CONCRETO												
ROTURA DE CILINDRO DE CONCRETO								DIA 7				
DESCRIPCION		FECHA DE VACIADO	DIAMETRO DE CILINDRO (cm)			ALTURA (cm)	AREA (cm)	PESO (Kg)	FECHA DE ROTURA	CARGA (KN)	RESISTENCIA MPa	PROMEDIO
			D1	D2	PROMEDIO							
0,5%	I	03-jun	10,32	10,26	10,29	20,38	83,16	3,95	10-jun	148,4	23	23,04
	II	03-jun	10,3	10,31	10,31	20,31	83,40	3,94	10-jun	178,5	23	
	II I	03-jun	10,27	10,29	10,28	20,35	83,00	3,92	10-jun	124,3	23	

Roturas de cilindros de hormigón con 0.5% de fibra de paja toquilla-Ensayo de compresión 14 días.

DETERMINACION DE RESISTENCIA A LA COMPRESION DE CILINDRO DE CONCRETO												
ROTURA DE CILINDRO DE CONCRETO								DIA 14				
DESCRIPCION		FECHA DE VACIADO	DIAMETRO DE CILINDRO (cm)			ALTURA (cm)	AREA (cm)	PESO (Kg)	FECHA DE ROTURA	CARGA (KN)	RESISTENCIA Mpa	PROMEDIO
			D1	D2	PROMEDIO							
0,5%	I	03-jun	10,31	10,41	10,36	20,56	84,30	4	17-jun	223,5	28,45	
	II	03-jun	10,37	10,39	10,38	20,46	84,62	4,02	17-jun	231,1	28,4	
	II	03-jun	10,37	10,26	10,32	20,56	83,57	3,9	17-jun	222,1	28,28	

123

Roturas de cilindros de hormigón con 0.5% de fibra de paja toquilla-Ensayo de compresión 28 días.

DETERMINACION DE RESISTENCIA A LA COMPRESION DE CILINDRO DE CONCRETO												
ROTURA DE CILINDRO DE CONCRETO								DIA 28				
DESCRIPCION		FECHA DE VACIADO	DIAMETRO DE CILINDRO (cm)			ALTURA (cm)	AREA (cm)	PESO (Kg)	FECHA DE ROTURA	CARGA (KN)	RESISTENCIA Mpa	PROMEDIO
			D1	D2	PROMEDIO							
0,5%	I	04-may	10,23	10,25	10,24	20,58	82,35	3,96	18-may	277,6	35,34	
	II	04-may	10,33	10,21	10,27	20,48	82,84	3,94	18-may	264,3	33,65	
	II I	04-may	10,24	10,22	10,23	20,73	82,19	3,98	18-may	249,7	36,18	

ANEXO 13.

Roturas de cilindros de hormigón con 1% de fibra de paja toquilla-Ensayo de compresión 7 días.

DETERMINACION DE RESISTENCIA A LA COMPRESION DE CILINDRO DE CONCRETO												
ROTURA DE CILINDRO DE CONCRETO								DIA 7				
DESCRIPCION		FECHA DE VACIADO	DIAMETRO DE CILINDRO (cm)			ALTURA (cm)	AREA (cm)	PESO (Kg)	FECHA DE ROTURA	CARGA (KN)	RESISTENCIA MPa	PROMEDIO
			D1	D2	PROMEDIO							
1%	I	27-may	10,21	10,27	10,24	20,38	82,35	3,95	03-jun	148,4	19	19,09
	II	27-may	10,33	10,34	10,34	20,31	83,89	3,94	03-jun	178,5	23	
	III	27-mav	10,3	10,28	10,29	20,35	83,16	3,92	03-jun	124,3	16	

Roturas de cilindros de hormigón con 1% de fibra de paja toquilla-Ensayo de compresión 14 días.

DETERMINACION DE RESISTENCIA A LA COMPRESION DE CILINDRO DE CONCRETO													
ROTURA DE CILINDRO DE CONCRETO								DIA 14					
DESCRIPCION		FECHA DE VACIADO	DIAMETRO DE CILINDRO (cm)			ALTURA (cm)	AREA (cm)	PESO (Kg)	FECHA DE ROTURA	CARGA (KN)	RESISTENCIA Mpa	PROMEDIO	
			D1	D2	PROMEDIO								
1%	I	27-may	10,31	10,28	10,30	20,34	83,24	3,94	10-jun	189,8	24,17		24,97
	II	27-may	10,34	10,23	10,29	20,35	83,08	3,9	10-jun	188,1	23,95		
	III	27-may	10,37	10,31	10,34	20,41	83,97	3,94	10-jun	210,5	26,8		

Roturas de cilindros de hormigón con 1% de fibra de paja toquilla-Ensayo de compresión 28 días.

DETERMINACION DE RESISTENCIA A LA COMPRESION DE CILINDRO DE CONCRETO												
ROTURA DE CILINDRO DE CONCRETO								DIA 28				
DESCRIPCION		FECHA DE VACIADO	DIAMETRO DE CILINDRO (cm)			ALTURA (cm)	AREA (cm)	PESO (Kg)	FECHA DE ROTURA	CARGA (KN)	RESISTENCIA Mpa	PROMEDIO
			D1	D2	PROMEDIO							
1%	I	05-may	10,25	10,27	10,26	20,34	82,68	3,90	19-may	264,2	30,03	31,13
	II	05-may	10,25	10,21	10,23	22,36	82,19	3,91	19-may	264,4	31,50	
	III	05-may	10,28	10,29	10,29	20,94	83,08	3,92	19-may	263,5	31,86	

ANEXO 14.

Roturas de cilindros de hormigón con 2% de fibras de paja toquilla – Ensayo de compresión 7 días.

DETERMINACION DE RESISTENCIA A LA COMPRESION DE CILINDRO DE CONCRETO												
ROTURA DE CILINDRO DE CONCRETO									DIA 7			
DESCRIPCION		FECHA DE VACIADO	DIAMETRO DE CILINDRO (cm)			ALTURA (cm)	AREA (cm)	PESO (Kg)	FECHA DE ROTURA	CARGA (KN)	RESISTENCIA A MPa	PROMEDIO
			D1	D2	PROMEDIO							
2%	I	28-may	10,26	10,28	10,27	20,54	82,84	3,92	04-jun	144,9	18	18,72
	II	28-may	10,26	10,28	10,27	20,46	82,84	3,95	04-jun	116,7	15	
	III	28-may	10,32	10,36	10,34	20,36	83,97	3,93	04-jun	179,5	23	

Roturas de cilindros de hormigón con 2% de fibras de paja toquilla – Ensayo de compresión 14 días.

DETERMINACION DE RESISTENCIA A LA COMPRESION DE CILINDRO DE CONCRETO												
ROTURA DE CILINDRO DE CONCRETO									DIA 14			
DESCRIPCION		FECHA DE VACIADO	DIAMETRO DE CILINDRO (cm)			ALTURA (cm)	AREA (cm)	PE SO (Kg)	FECHA DE ROTURA	CARGA (KN)	RESISTENCIA Mpa	PROMEDIO
			D1	D2	PROMEDIO							
2%	I	28-may	10,35	10,14	10,25	20,42	82,44	3,92	11-jun	169,1	21,53	23,41
	II	28-may	10,23	10,25	10,24	20,43	82,35	3,92	11-jun	188,1	21,41	
	III	28-may	10,34	10,36	10,35	20,51	84,13	4	11-jun	314,3	27,29	

125

Roturas de cilindros de hormigón con 2% de fibras de paja toquilla – Ensayo de compresión 28 días.

DETERMINACION DE RESISTENCIA A LA COMPRESION DE CILINDRO DE CONCRETO												
ROTURA DE CILINDRO DE CONCRETO									DIA 28			
DESCRIPCION		FECHA DE VACIADO	DIAMETRO DE CILINDRO (cm)			ALTURA (cm)	AREA (cm)	PESO (Kg)	FECHA DE ROTURA	CARGA (KN)	RESISTENCIA Mpa	PROMEDIO
			D1	D2	PROMEDIO							
2%	I	11-may	10,24	10,35	10,30	20,42	83,24	3,92	25-may	244,5	29,18	30,32
	II	11-may	10,30	10,27	10,29	20,54	83,08	3,96	25-may	242,5	30,08	
	III	11-may	10,27	10,25	10,26	20,58	82,68	3,99	25-may	244,7	31,70	

ANEXO 15.

Roturas de cilindros de hormigón con 3% de fibras de paja toquilla– Ensayo de compresión 7 días.

DETERMINACION DE RESISTENCIA A LA COMPRESION DE CILINDRO DE CONCRETO												
ROTURA DE CILINDRO DE CONCRETO									DIA 7			
DESCRIPCION		FECHA DE VACIADO	DIAMETRO DE CILINDRO (cm)			ALTURA (cm)	AREA (cm)	PESO (Kg)	FECHA DE ROTURA	CARGA (KN)	RESISTENCIA MPa	PROMEDIO
			D1	D2	PROMEDIO							
3%	I	01-jun	10,22	10,23	10,23	20,43	82,11	3,94	08-jun	127,4	16	14,27
	II	01-jun	10,25	10,21	10,23	20,58	82,19	3,94	08-jun	108,9	14	
	III	01-jun	10,23	10,25	10,24	20,41	82,35	3,88	08-jun	100	13	

Roturas de cilindros de hormigón con 3% de fibras de paja toquilla– Ensayo de compresión 14 días

DETERMINACION DE RESISTENCIA A LA COMPRESION DE CILINDRO DE CONCRETO												
ROTURA DE CILINDRO DE CONCRETO									DIA 14			
DESCRIPCION		FECHA DE VACIADO	DIAMETRO DE CILINDRO (cm)			ALTURA (cm)	AREA (cm)	PE SO (Kg)	FECHA DE ROTURA	CARGA (KN)	RESISTENCIA Mpa	PROMEDIO
			D1	D2	PROMEDIO							
3%	I	01-jun	10,41	10,14	10,28	20,53	82,92	3,96	15-jun	156,9	19,98	17,53
	II	01-jun	10,23	10,25	10,24	20,36	82,35	3,92	15-jun	133	16,94	
	III	01-jun	10,34	10,36	10,35	20,46	84,13	3,84	15-jun	129,1	15,68	

Roturas de cilindros de hormigón con 3% de fibras de paja toquilla– Ensayo de compresión 28 días.

DETERMINACION DE RESISTENCIA A LA COMPRESION DE CILINDRO DE CONCRETO												
ROTURA DE CILINDRO DE CONCRETO									DIA 28			
DESCRIPCION		FECHA DE VACIADO	DIAMETRO DE CILINDRO (cm)			ALTURA (cm)	AREA (cm)	PESO (Kg)	FECHA DE ROTURA	CARGA (KN)	RESISTENCIA Mpa	PROMEDIO
			D1	D2	PROMEDIO							
3%	I	07-may	10,15	10,15	10,15	20,48	80,91	3,84	21-may	131,1	20,51	21,36
	II	07-may	10,10	10,20	10,15	20,34	80,91	3,90	21-may	161,1	20,51	
	III	07-may	10,25	10,20	10,23	20,41	82,11	3,94	21-may	181,0	23,05	

ANEXOS 16.

Roturas de cilindros de hormigón con 4% de fibras de paja toquilla– Ensayo de compresión 7 días.

DETERMINACION DE RESISTENCIA A LA COMPRESION DE CILINDRO DE CONCRETO												
ROTURA DE CILINDRO DE CONCRETO								DIA 7				
DESCRIPCION		FECHA DE VACIADO	DIAMETRO DE CILINDRO (cm)			ALTURA (cm)	AREA (cm)	PESO (Kg)	FECHA DE ROTURA	CARGA (KN)	RESISTENCIA MPa	PROMEDIO
			D1	D2	PROMEDIO							
4%	I	02-jun	10,33	10,34	10,34	20,59	83,89	3,88	09-jun	140,7	18	
	II	02-jun	10,36	10,36	10,36	20,43	84,30	3,8	09-jun	78,2	10	
	III	02-jun	10,23	10,25	10,24	20,66	82,35	3,92	09-jun	107	14	

Roturas de cilindros de hormigón con 4% de fibras de paja toquilla– Ensayo de compresión 14 días.

DETERMINACION DE RESISTENCIA A LA COMPRESION DE CILINDRO DE CONCRETO												
ROTURA DE CILINDRO DE CONCRETO									DIA 14			
DESCRIPCION		FECHA DE VACIADO	DIAMETRO DE CILINDRO (cm)			ALTURA (cm)	AREA (cm)	PESO (Kg)	FECHA DE ROTURA	CARGA (KN)	RESISTENCIA Mpa	PROMEDIO
			D1	D2	PROMEDIO							
4%	I	02-jun	10,41	10,29	10,35	20,42	84,13	4	16-jun	156,9	19,79	
	II	02-jun	10,27	10,31	10,29	20,55	83,16	3,98	16-jun	133	14,5	
	III	02-jun	10,31	10,23	10,27	20,46	82,84	3,99	16-jun	129,1	14,63	

Roturas de cilindros de hormigón con 4% de fibras de paja toquilla– Ensayo de compresión 28 días.

DETERMINACION DE RESISTENCIA A LA COMPRESION DE CILINDRO DE CONCRETO												
ROTURA DE CILINDRO DE CONCRETO								DIA 28				
DESCRIPCION		FECHA DE VACIADO	DIAMETRO DE CILINDRO (cm)			ALTURA (cm)	AREA (cm)	PESO (Kg)	FECHA DE ROTURA	CARGA (KN)	RESISTENCIA Mpa	PROMEDIO
			D1	D2	PROMEDIO							
4%	I	12-may	10,23	10,28	10,26	20,58	82,60	3,90	26-may	122,6	15,61	
	II	12-may	10,36	10,37	10,37	20,55	84,38	3,96	26-may	197,8	25,18	
	III	12-may	10,28	10,30	10,29	20,28	83,16	3,84	26-mav	139,0	17,70	

ANEXO 17.

Roturas de vigas de hormigón H240 – Ensayo de flexión 7 días.

IDENTIFICACION		FECHA DE VACIADO	FECHA DE ROTURA	ANCHO (CM)	ALTURA (CM)	LONGITUD TOTAL	AREA	DISTANCIA ENTRE CARGAS (L)
ID	Nº							
PATRON	1	26/05/2026	02/06/2026	15,6	15,2	53,3	237,12	45,1
	2	26/05/2026	23/06/2026	15,5	15	53,5	232,5	45,2
	3	26/05/2026	23/06/2026	15,5	15,1	53,5	234,05	45,4

ROTURA			DISEÑO		ROTURA		EFICIENCIA %
EDAD (DIAS)	CARGA (KN)	RESISTENCIA (MPA)	%	PROMEDIO (MPA)	%	PROMEDIO (MPA)	
7	21,68	3,89	60	2,1	151,20	3,89	91,20
28	23,06	5,10	100	3,2	159,00	5,49	59,00
28	23,94	5,87					

ANEXO 18.

Roturas de vigas de hormigón H240+ 0.5% de paja toquilla – Ensayo de flexión.

IDENTIFICACION		FECHA DE VACIADO	FECHA DE ROTURA	ANCHO (CM)	ALTURA (CM)	LONGITUD TOTAL	AREA	DISTANCIA ENTRE CARGAS (L)
ID	Nº							
F 0,5%	4	27/05/2026	03/06/2026	15	15,4	53,8	231	45,2
	5	27/05/2026	24/06/2026	15	15,3	53,4	229,5	45,1
	6	27/05/2026	24/06/2026	15	15,2	53,8	228	45,3

ROTURA			DISEÑO		ROTURA		EFICIENCIA %
EDAD (DIAS)	CARGA (KN)	RESISTENCIA (MPA)	%	PROMEDIO (MPA)	%	PROMEDIO (MPA)	
7	24,27	4,95	60	2,1	163,10	4,95	103,10
28	30,77	7,16	100	3,2	221,20	7,07	121,20
28	31,02	6,98					

ANEXO 19.

Roturas de vigas de hormigón H240 +1% de paja toquilla – Ensayo de flexión.

IDENTIFICACION		FECHA DE VACIADO	FECHA DE ROTURA	ANCHO (CM)	ALTURA (CM)	LONGITUD TOTAL	AREA	DISTANCIA ENTRE CARGAS (L)
ID	Nº							
F1%	10	28/05/2026	04/06/2026	15,1	15,6	53,5	235,56	45,3
	11	28/05/2026	25/06/2026	15,4	15,5	53,5	238,7	45,4
	12	28/05/2026	25/06/2026	15,5	15,4	53,4	238,7	45,4

ROTURA			DISEÑO		ROTURA		EFICIENCIA %
EDAD (DIAS)	CARGA (KN)	RESISTENCIA (MPA)	%	PROMEDIO (MPA)	%	PROMEDIO (MPA)	
7	30,77	5,73	60	2,1	219,13	5,73	159,13
28	33,58	7,16	100	3,2	225,16	7,21	125,16
28	36,04	7,25					

ANEXO 20.

Roturas de vigas de hormigón H240 +2% de paja toquilla – Ensayo de flexión.

IDENTIFICACION		FECHA DE VACIADO	FECHA DE ROTURA	ANCHO (CM)	ALTURA (CM)	LONGITUD TOTAL	AREA	DISTANCIA ENTRE CARGAS (L)
ID	Nº							
F2%	7	01/06/2026	08/06/2026	15	15,4	53,7	231	45,4
	8	01/06/2026	29/06/2026	15	15,2	53,7	228	45,6
	9	01/06/2026	29/06/2026	15,2	15,5	53,6	235,6	45,1

ROTURA			DISEÑO		ROTURA		EFICIENCIA %
EDAD (DIAS)	CARGA (KN)	RESISTENCIA (MPA)	%	PROMEDIO (MPA)	%	PROMEDIO (MPA)	
7	28,88	3,98	60	2,1	182,20	3,98	122,20
28	35,55	7,01	100	3,2	220,10	6,95	120,10
28	34,61	6,88					

ANEXO 22.

Elaboración de cilindros y vigas de hormigón.



ANEXO 23.

Ensayo de compresión.



ANEXO 24.

Ensayo de flexión o Módulo de rotura.



ANEXO 25.

Proceso de recolección.



Ilustración 1 Extracción de la vena de la hoja



Ilustración 2 Cocción del material



Ilustración 3 Proceso de estilado del material.



Ilustración 3.1 Proceso de estilado



Ilustración 4 Secado del Material



Ilustración 5 Fibra en el sol

ANEXO 26.

Tratamiento de Hidróxido de Sodio (NaOH) 50% de concentración.



Ilustración 1
Seleccinamiento de fibra



Ilustración 2 Tratamiento de la fibra con NaOH



Ilustración 3 Enfriamiento de fibra



Ilustración 4 Secado a temperatura ambiente 32°



Ilustración 3 Fibra a 7cm con tratamiento de NaOH

ANEXO 27.

Ensayo de tensión y dinamómetro.



ANEXO 28.

Tratamiento alcalino (Mercerización) de la fibra de paja toquilla.



ANEXO 29.

Proceso de tamizado de agregado grueso.



ANEXO 30.

Proceso de registro de pesos retenidos en tamices.



ANEXO 31.

Registro de peso suelto de agregado más molde.



ANEXO 32.

Vaciado de molde con agregado, compactación y enrasado.



ANEXO 33.

Proceso de sumergir el agregado utilizando una canastilla metálica



ANEXO 34.

Proceso llenado de frasco más agua y agregado fino



ANEXO 35.

Ensayo tiempo de fraguado.



ANEXO 36.

Ensayo de contenido de aire.

