



UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA CENTROAMERICANA

FACULTAD DE INGENIERÍA

PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

**PROPUESTA DE DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO HIDRÁULICO CON
INCORPORACIÓN DE FIBRA DE PSEUDOTALLO DE BANANO**

PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO:

INGENIERO CIVIL

PRESENTADO POR:

22011120 / JOSUÉ DAVID LÓPEZ SERPAS

22011304 / DAVID ORLANDO PERDOMO AGUIRRE

ASESOR METODOLÓGICO: ADA RODRÍGUEZ

ASESOR TEMÁTICO: MICHAEL PINEDA

CAMPUS UNITEC S.P.S

FEBRERO, 2025

DERECHOS DE AUTOR

©Copyrigh 2025

JOSUÉ DAVID LÓPEZ SERPAS

DAVID ORLANDO PERDOMO AGUIRRE

Todos los derechos reservados

AUTORIZACIÓN

AUTORIZACIÓN DEL AUTOR(ES) PARA LA CONSULTA, LA REPRODUCCIÓN PARCIAL O TOTAL, Y PUBLICACIÓN FÍSICA Y ELECTRÓNICA DEL TEXTO COMPLETO DEL TRABAJO FINAL DE GRADUACIÓN.

Señores

CENTRO DE RECURSOS PARA EL APRENDIZAJE Y LA INVESTIGACIÓN (CRAI)

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA CENTROAMERICANA (UNITEC)

San Pedro Sula

Estimados Señores:

La presentación del documento de tesis forma parte de los requerimientos y procesos establecidos de graduación para alumnos de pregrado de UNITEC. Nosotros, JOSUÉ DAVID LOPÉZ SERPAS y DAVID ORLANDO PERDOMO AGUIRRE, de San Pedro Sula, autores del trabajo de grado titulado: PROPUESTA DE DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO HIDRÁULICO CON INCORPORACIÓN DE FIBRA DE PSEUDOTALLO DE BANANO, presentado y aprobado en el año 2024, como requisito para optar al título de Profesional de Ingeniero Civil, autorizo a:

Las Bibliotecas de los Centros de Recursos para el Aprendizaje y la Investigación (CRAI) de la Universidad Tecnológica Centroamericana (UNITEC), para que, con fines académicos, pueda libremente registrar, copiar y usar la información contenida en él, con fines educativos, investigativos o sociales de la siguiente manera:

Los usuarios pueden consultar el contenido de este trabajo de grado en las salas de estudio de la biblioteca y la página Web de la universidad.

Permita la consulta y la reproducción, a los usuarios interesados en el contenido de este trabajo, para todos los usos que tengan finalidad académica, ya sea en formato CD o digital desde Internet, Intranet, etc., y en general para cualquier formato conocido o por conocer.

De conformidad con lo establecido en el artículo 19 de la Ley de Derechos de Autor y de los Derechos Conexos; los cuales son irrenunciables, imprescriptibles, inembargables e inalienables.

Es entendido que cualquier copia o reproducción del presente documento con fines de lucro no está permitida sin previa autorización por escrito de parte de los principales autores.

En fe de lo cual, se suscribe la presente acta en la ciudad de San Pedro Sula a los # días del mes de ## dos mil veinticinco.

Fecha de defensa

HOJAS DE FIRMA

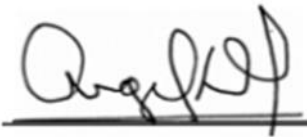
Los suscritos certificamos, en nuestra calidad de miembros de la terna, asesores y/o autoridades académicas, y dentro de nuestras responsabilidades asumidas, que el presente documento cumple con los lineamientos establecidos por la Facultad de Ingeniería y con los requisitos académicos estipulados por la Universidad Tecnológica Centroamericana para los procesos de graduación.



Asesor Metodológico
Ing. Ada Rodríguez



Asesor Temático
Ing. Michael Job



Miembro de terna
Ing. Ángel Funez



Miembro de terna
Ing. Raúl Medina

— *Mario Mandujano* —

Miembro de terna
Ing. Mario Matute

DEDICATORIA

"Por encima de todas las cosas, agradezco a Dios por guiarme en todo momento y luego a mis padres, familiares y amigos que han formado parte del camino que me ha llevado a formarme como profesional y, sobre todo, como persona. Agradezco cada una de las palabras que llegó a mi corazón y me permitió tener la fuerza, y a cada consejo que me dio la calma y la sabiduría para tomar las mejores decisiones."

Josué David López Serpas

A Dios primeramente por guiarme y darme fortalezas durante toda mi trayectoria de estudio y poder lograr un grado profesional a mi formación académica. Este logro también se lo dedico a mis padres, hermanos, abuelos y demás familiares por el inmenso apoyo, respaldo, fuerza y consejos que me han dado a lo largo de la carrera universitaria; son parte de los frutos y logros que he obtenido hasta el día de hoy. También, este logro se lo quiero dedicar a mis seres queridos que me han apoyado y acompañado durante toda mi vida personal y han sido parte importante en mi camino y formación.

David Orlando Perdomo Aguirre

AGRADECIMIENTOS

Queremos agradecer a nuestro asesor temático el Ing. Michael Job Pineda por ofrecer de su tiempo en proporcionar colaboración y recomendaciones para poder realizar los estudios prácticos pertinentes al proyecto de forma correcta. Asimismo, un agradecimiento a la Ing. Ada Rodríguez, quien estuvo de cerca en la elaboración del informe, por su paciencia y dedicación en procurar estar estructurada conforme lo establecido para así lograr un resultado satisfactorio en nuestro proyecto de investigación.

De igual forma, un agradecimiento a la empresa William y Molina por su apoyo en facilitar sus instalaciones para la realización de los ensayos de laboratorios correspondientes para dicho proyecto.

También un agradecimiento a los agricultores residentes en el municipio de San José de Colinas, Santa Bárbara, por suministrar los pseudotallos de banano para obtener la fibra.

RESUMEN EJECUTIVO

El proyecto se centra en la elaboración de una dosificación de concreto conforme a la normativa ACI, incorporando fibras para modificar la mezcla convencional. Este proceso comenzó con la extracción y cepillado de las fibras, asegurando su limpieza y preparación adecuada, lo que es fundamental para mejorar la adherencia en la mezcla. Posteriormente, se realizó un curado de las fibras utilizando hidróxido de sodio, un procedimiento que optimiza sus propiedades físicas y mecánicas antes de ser cortadas en segmentos de 1.5 pulgadas y pesadas para una dosificación precisa, siguiendo las directrices establecidas por la normativa ACI. Se elaboraron testigos de concreto que incluían mezclas con fibras en proporciones del 1.5%, 1.0% y 2.0%, además de una muestra de control sin adición de fibras, lo que permite una comparación efectiva del rendimiento de cada mezcla en condiciones similares. Durante el proceso de elaboración, se llevaron a cabo pruebas de revenimiento y contenido de aire, para evaluar la trabajabilidad de las mezclas y comprender su comportamiento durante la manipulación y colocación en obra. Estas pruebas demostraron que el concreto se pueda verter y moldear adecuadamente. Los testigos fueron sometidos a ensayos de compresión y módulo de rotura a los 7, 14 y 28 días, mostrando que las mezclas alcanzaron altas resistencias, superando el f'_c de diseño de 4000 psi y módulo de rotura de 600 establecido por la normativa ACI. Estos hallazgos ofrecen una base sólida para futuras investigaciones en el área de la dosificación de concreto, donde se podrían explorar diferentes tipos de fibras, sus proporciones y métodos de curado para optimizar el rendimiento de las mezclas. Además, se sugiere investigar otros factores que podrían influir en la efectividad de las fibras, como la interacción entre los diferentes componentes de la mezcla y el proceso de curado. Este estudio no solo contribuye al conocimiento actual sobre la dosificación de concreto con fibras, sino que también sienta las bases para futuras innovaciones en la industria de la construcción.

Palabras clave: Concreto, Resistencia, Fibra, Pseudotallo, Banano

ABSTRACT

The project focuses on developing a concrete mix according to ACI standards, incorporating fibers to modify the traditional mixture. This process began with the extraction and brushing of the fibers, ensuring their cleanliness and proper preparation, which is fundamental for enhancing adhesion in the mix. Subsequently, the fibers were cured using sodium hydroxide, a procedure that optimizes their physical and mechanical properties before being cut into 1.5-inch segments and weighed for precise dosing, following the guidelines established by the ACI standards. Concrete specimens were fabricated, including mixes with fibers in proportions of 1.5%, 1.0%, and 2.0%, along with a control sample without fiber addition, allowing for an effective comparison of each mix's performance under similar conditions. During the preparation process, slump tests and air content tests were conducted to evaluate the workability of the mixes and to understand their behavior during handling and placement on site. These tests demonstrated that the concrete could be poured and shaped adequately. The specimens were subjected to compression and modulus of rupture tests at 7, 14, and 28 days, showing that the mixes achieved high strengths, exceeding the design f'_c of 4000 psi and a modulus of rupture of 600 established by the ACI standards. These findings provide a solid foundation for future research in the area of concrete dosing, where different types of fibers, their proportions, and curing methods could be explored to optimize mix performance. Additionally, it is suggested to investigate other factors that could influence the effectiveness of the fibers, such as the interaction between the different components of the mix and the curing process. This study not only contributes to the current knowledge about fiber-reinforced concrete dosing but also lays the groundwork for future innovations in the construction industry.

Keywords: Concrete, Fiber, Pseudostems, Strength, Banana.

ÍNDICE DE CONTENIDO

I.	INTRODUCCIÓN	1
II.	PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	3
2.1	PRECEDENTE DEL PROBLEMA.....	3
2.2.	DEFINICIÓN DEL PROBLEMA.....	7
2.2.1.	<i>ENUNCIADO DEL PROBLEMA</i>	7
2.2.2.	<i>FORMULACIÓN DEL PROBLEMA</i>	7
2.3.	JUSTIFICACIÓN	7
2.4.	PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN	8
2.5	OBJETIVOS.....	9
2.5.1	<i>OBJETIVO GENERAL</i>	9
2.5.2	<i>OBJETIVOS ESPECÍFICOS</i>	9
III.	ESTADO DEL ARTE	11
3.1	CONCRETO HIDRÁULICO	11
3.2	PROPIEDADES DEL CONCRETO FRESCO.....	12
3.3	PROPIEDADES DEL CONCRETO ENDURECIDO.....	13
3.4	PRODUCCIÓN Y EXTRACCIÓN DE LOS MATERIALES	14
3.5	INFRESTRUCTURA CIVIL	15
3.6	FIBRAS NATURALES	18
3.7	FIBRA DE PSEUDOTALLO DE BANANO.....	20
3.8	PROPIEDADES MECÁNICAS	22
3.9	CUADRO DE LIMITACIONES.....	23
3.10	TEORÍA DE SUSTENTO.....	23
3.10.1	<i>NORMATIVA ASTM</i>	24
3.10.2	<i>NORMATIVA ACI</i>	31
3.10.3	<i>CÁLCULOS PARA EL DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO SEGÚN NORMATIVAS ASTM Y ACI</i>	33

3.10.4	TEORÍA DE ISHIKAWA.....	39
3.11	CONCEPTUALIZACIÓN	41
3.12	MARCO LEGAL.....	44
IV.	METODOLOGÍA	50
4.1	ENFOQUE	50
4.2	VARIABLES DE INVESTIGACIÓN.....	51
4.2.1	DIAGRAMA DE LAS VARIABLES DE OPERACIONALIZACIÓN.....	52
4.2.2	TABLA DE OPERACIONALIZACIÓN	53
4.2.3	HIPÓTESIS.....	55
4.3	TÉCNICAS E INSTRUMENTOS APLICADOS.....	55
4.3.1	INSTRUMENTOS.....	55
4.3.2	TÉCNICAS.....	61
4.4	MATERIALES.....	62
4.5	POBLACIÓN Y MUESTRA	65
4.5.1	POBLACIÓN.....	65
4.5.2	TAMAÑO DE LA MUESTRA	66
4.6	METODOLOGÍA DE ESTUDIO.....	67
4.6.1	TIPO DE DISEÑO	67
4.7	METODOLOGÍA DE VALIDACIÓN.....	69
4.8	CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES.....	70
V.	ANÁLISIS Y RESULTADOS.....	76
5.1	PROCESO DE EXTRACCIÓN Y TRATAMIENTO A LA FIBRA DE PSEUDOTALLO DE BANANO	76
5.2	ANÁLISIS DE LOS AGREGADOS.....	77
5.2.1.	PESO VOLUMÉTRICO	77
5.2.2.	GRANULOMETRÍA.....	81
5.2.3	PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN	90

5.2.4	<i>COLORIMETRÍA</i>	93
5.3	DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO	93
5.3.1	<i>DOSIFICACIÓN</i>	93
5.3.2	<i>REVENIMIENTO Y CONTENIDO DE AIRE</i>	102
5.4	RESULTADOS DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN Y FLEXIÓN.....	103
5.4.1	<i>ANÁLISIS DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN</i>	103
5.4.2	<i>ANÁLISIS DE RESISTENCIA A LA FLEXIÓN</i>	111
5.5	LIMITACIONES	115
5.6	VALIDACIÓN DE HIPÓTESIS	116
VI.	APLICABILIDAD.....	125
VII.	CONCLUSIONES	131
VIII.	RECOMENDACIONES	133
	BIBLIOGRAFÍA	136

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Valores de los principales productos de exportación, año 2023.....	3
Ilustración 2. Esquema de la composición del concreto	11
Ilustración 3. Proceso de extracción del material	15
Ilustración 4. Aplicación del hormigón con fibras naturales en diferentes tipos de proyectos de edificación	16
Ilustración 5. Mercado de la fibra sintética y natural, para el año 2020	17
Ilustración 6. El efecto de múltiples fibras aplicadas al hormigón.	17
Ilustración 7. Evaluación de la sostenibilidad del hormigón con fibras naturales.	18
Ilustración 8. Clasificación de las fibras naturales según su origen.	19
Ilustración 9. Fibra de banano.....	20
Ilustración 10. Plantaciones bananeras en Honduras.....	21
Ilustración 11. Composición de la fibra de pseudotallo de plátano.....	22
Ilustración 12. Tipos de concreto según peso volumétrico.....	24
Ilustración 13. Tipos de fracturas en cilindros de concreto.....	30
Ilustración 14. Relación agua/cemento permisible para concreto de diferentes resistencias compresivas.	32
Ilustración 15. Cantidad de agua y contenido de aire para diferentes revenimientos y tamaño máximo de agregado.....	32
Ilustración 16. Volumen de agregado grueso por volumen unitario de concreto	33
Ilustración 17. Diagrama de variable de operacionalización	52
Ilustración 18. Propiedades físicas y mecánicas de la fibra de banano	64
Ilustración 19. Diagrama de metodología de estudio.....	67
Ilustración 20. Cronograma de Actividades Semana #1	73
Ilustración 21. Cronograma de Actividades Semana #2.....	73
Ilustración 22. Cronograma de Actividades Semana #3.....	73
Ilustración 23. Cronograma de Actividades Semana #4	74
Ilustración 24. Cronograma de Actividades Semana #5.....	74

Ilustración 25. Cronograma de Actividades Semana #6	74
Ilustración 26. Cronograma de Actividades Semana #7	74
Ilustración 27. Cronograma de Actividades Semana #8	75
Ilustración 28. Cronograma de Actividades Semana #9	75
Ilustración 29. Cronograma de Actividades Semana #10.....	75
Ilustración 30. Curva Granulométrica de la Arena.....	85
Ilustración 31. Curva Granulométrica de la Grava.....	90
Ilustración 32. Colorimetría de la Arena.....	93
Ilustración 33. Gráfico de resistencia a la compresión a los 7 días.....	106
Ilustración 34. Gráfico de resistencia a la compresión a los 14 días.....	107
Ilustración 35. Gráfico de resistencia a la compresión a los 28 días.....	108
Ilustración 36. Gráfico de $f'c$ vs Edad del concreto.....	108
Ilustración 37. Gráfico de resistencia a la flexión a los 7 días.....	113
Ilustración 38. Gráfico de resistencia a la flexión a los 14 días	114
Ilustración 39. Gráfico de resistencia a la flexión a los 28 días	115
Ilustración 40. Prueba de normalidad a la compresión de mezcla de concreto control.	117
Ilustración 41. Prueba de normalidad a la compresión de mezcla de concreto con 1% de fibra	117
Ilustración 42. Prueba de normalidad a la compresión de mezcla de concreto con 1.5% de fibra	118
Ilustración 43. Prueba de normalidad de mezcla de concreto con 2% de fibra	118
Ilustración 44. Prueba de hipótesis de resistencia a la compresión.....	119
Ilustración 45. Prueba de normalidad a la flexión de mezcla de concreto.....	120
Ilustración 46. Prueba de normalidad a la flexión de mezcla de concreto con 1% de fibra.....	120
Ilustración 47. Prueba de normalidad a la flexión de mezcla de concreto con 1.5% de fibra.....	121

Ilustración 48. Prueba de normalidad a la flexión de mezcla de concreto con 2% de fibra.....	121
Ilustración 49. Prueba de igualdad de varianza de las mezclas de concreto.....	122
Ilustración 50. ANOVA de un factor de las mezclas de concreto.....	123
Ilustración 51. Ficha de costo concreto control.....	127
Ilustración 52. Ficha de costo de fibra de banano.....	128
Ilustración 53. Ficha de costo concreto con fibra.	128
Ilustración 54. Explosión de insumos materiales.....	129
Ilustración 55. Explosión de insumos mano de obra y equipos.....	130
Ilustración 56. Cronograma de actividades.....	130
Ilustración 57. Fibras extraídas del pseudotallo de banano.....	143
Ilustración 58. Proceso de secado de la fibra.	143
Ilustración 59. Hidróxido de sodio.....	144
Ilustración 60. Cantidad de agua utilizada.....	144
Ilustración 61. Fibra sumergida en la solución de agua e hidróxido de sodio.....	145
Ilustración 62. Fibra sumergida en agua destilada.....	145
Ilustración 63. Peso de la fibra a utilizar en la mezcla.	146
Ilustración 64. Mezcla de concreto con adición de fibra.	146
Ilustración 65. Revenimiento de la mezcla de concreto con fibra de banano.	147
Ilustración 66. Contenido de aire de la mezcla de concreto con fibra de banano.....	147
Ilustración 67. Elaboración de especímenes de concreto.....	148
Ilustración 68. Proceso de golpeo a la mezcla de concreto.....	148
Ilustración 69. Muestras de cilindros y vigas de concreto.....	149
Ilustración 70. Desmolde de las muestras de concreto.....	149
Ilustración 71. Proceso de curado de las muestras de concreto.....	150
Ilustración 72. Proceso de secado de las muestras de concreto.	150
Ilustración 73. Peso de cilindro de concreto.....	151
Ilustración 74. Peso de viga de concreto.....	151
Ilustración 75. Ruptura de cilindro de concreto con fibra de banano.....	152

Ilustración 76. Ruptura de viga de concreto con fibra de banano	152
Ilustración 77. Reporte de ensayos a la grava 3/4"	153
Ilustración 78. Reporte de laboratorio de peso volumétrico a la grava 3/4".	154
Ilustración 79. Reporte de laboratorio de peso específico y absorción a la grava 3/4".	155
Ilustración 80. Reporte de laboratorio de granulometría a la grava 3/4"	156
Ilustración 81. Reporte de laboratorio de peso volumétrico a la arena.....	157
Ilustración 82. Reporte de laboratorio de peso específico y absorción a la arena.	158
Ilustración 83. Reporte de laboratorio de granulometría a la arena	159
Ilustración 84. Reporte de laboratorio de contenido de humedad a la grava 3/4" y arena.	160
Ilustración 85. Ficha técnica cemento Bijao tipo I.....	161
Ilustración 86. Cotización de cemento bijao	162
Ilustración 87. Cotización de hidróxido de sodio.....	162

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Limitaciones de fuentes bibliográficas.....	23
Tabla 2. Parámetros de porcentaje mínimo y máximo de la Arena.	25
Tabla 3. Parámetros de porcentaje mínimo y máximo de la Grava.....	26
Tabla 4. Colorimetría de la Arena.	28
Tabla 5. Variables de Operacionalización	51
Tabla 6. Tabla de Operacionalización.....	53
Tabla 7. Instrumentos aplicados.	55
Tabla 8. Cantidad de especímenes de concreto.....	65
Tabla 9. Peso Volumétrico y Porcentaje de Humedad de la Arena	79
Tabla 10. Peso Volumétrico y Porcentaje de Humedad de la Grava 3/4"	80
Tabla 11. Módulo de finura de los tipos de arena	84
Tabla 12. Análisis Granulométrico de la Arena.....	84
Tabla 13. Porcentaje pasado mínimo y máximo de la Arena.	85
Tabla 14. Análisis Granulométrico de la Grava	89
Tabla 15. Porcentaje pasado mínimo y máximo de la Grava	89
Tabla 16. Dosificación final de la mezcla de concreto.....	101
Tabla 17. Revenimiento y Contenido de Aire de las muestras de concreto	102
Tabla 18. Resistencia a la compresión a los 7 días.....	103
Tabla 19. Resistencia a la compresión a los 14 días.	104
Tabla 20. Resistencia a la compresión a los 28 días.	105
Tabla 21. Resumen de resistencia a la compresión	106
Tabla 22. Tipos de fracturas en cilindros de concreto a los 7 días	109
Tabla 23. Tipos de fracturas en cilindros de concreto a los 14 días	110
Tabla 24. Tipos de fracturas en cilindros de concreto a los 28 días.....	110
Tabla 25. Resistencia a la flexión a los 7 días.....	111

Tabla 26. Resistencia a la flexión a los 14 días	111
Tabla 27. Resistencia a la flexión a los 28 días	112
Tabla 28. Resumen de resistencia a la flexión	113

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1. Porcentaje de Humedad Promedio.....	34
Ecuación 2. Peso volumétrico húmedo.....	34
Ecuación 3. Peso volumétrico seco.....	34
Ecuación 4. Peso retenido acumulado.....	34
Ecuación 5. Porcentaje peso retenido individual	35
Ecuación 6. Porcentaje peso retenido acumulado.	35
Ecuación 7. Porcentaje pasado	35
Ecuación 8. Porcentaje de error	35
Ecuación 9. Módulo de finura.....	35
Ecuación 10. Gravedad especifica bulk seca (Grava)	35
Ecuación 11. Gravedad especifica bulk SSD (Grava).....	35
Ecuación 12. Gravedad especifica bulk aparente (Grava)	35
Ecuación 13. Porcentaje de absorción (Grava)	36
Ecuación 14. Gravedad especifica bulk seca (Arena).....	36
Ecuación 15. Gravedad especifica bulk SSD (Arena).....	36
Ecuación 16. Gravedad especifica bulk aparente (Arena)	36
Ecuación 17. Porcentaje de absorción (Arena).....	36
Ecuación 18. Porcentaje de agua libre.	37
Ecuación 19. Porcentaje de hueco.....	37
Ecuación 20. Resistencia a la compresión de diseño.....	37
Ecuación 21. Peso del cemento	37
Ecuación 22. Peso de la grava.	37
Ecuación 23. Volumen del agua.....	37
Ecuación 24. Volumen de cemento.....	37
Ecuación 25. Volumen de la grava	37

Ecuación 26. Volumen de aire.	38
Ecuación 27. Volumen de arena.....	38
Ecuación 28. Peso de la arena.....	38
Ecuación 29. Peso total.....	38
Ecuación 30. Dosificación x Volumen.....	38
Ecuación 31. Peso del agua.....	38
Ecuación 32. Peso del cemento.....	38
Ecuación 33. Peso de la grava.....	38
Ecuación 34. Peso de la arena.....	38
Ecuación 35. Peso dosificado total.....	39
Ecuación 36. Corrección de agua.....	39

I. INTRODUCCIÓN

El concreto es uno de los materiales más empleados en el sector de la construcción a nivel mundial, debido a sus propiedades físicas y químicas que contiene, compuesto por cemento, arena y grava, es un material que soporta altas capacidades de carga, lo cual resulta útil en los proyectos de construcción. Se distingue por su resistencia a la compresión, capaz de soportar altas capacidades de cargas, además, es versátil permitiendo agregar aditivos al diseño para mejorar sus propiedades según los requerimientos del proyecto.

Sin embargo, hoy en día la industria de la construcción enfrenta desafíos y uno de ellos en específico es la creciente necesidad de utilizar materiales renovables que puedan ser incorporados en el diseño del concreto y a su vez ofrezcan soluciones sostenibles, esto debido a la tendencia actual en la construcción hacia una mayor sostenibilidad y reducción de costos. Los materiales renovables son aquellos que están hechos a partir de recursos naturales o proveniente de fibras vegetales o animales que se restauran mediante procesos naturales. En ese caso, la fibra de pseudotallo de banano surge como opción puesto que es un subproducto agrícola que abunda en gran parte del país, compuestas básicamente de celulosa, hemicelulosa, lignina, pectinas y una cantidad mínima de materia orgánica en forma de sustancias extraíbles y componentes inorgánicos como las cenizas.

El propósito del estudio es determinar la influencia de la fibra de pseudotallo de banano en las propiedades mecánicas del concreto. La razón de elegir la fibra de pseudotallo de banano radica en sus propiedades físicas que posee, del cual puede modificar las características del concreto.

En tal sentido, se desarrollarán cálculos de la dosificación del concreto convencional y adición de fibra de pseudotallo con diferentes proporciones, siguiendo las directrices de la normativa ACI para garantizar que la mezcla cumpla los estándares necesarios de

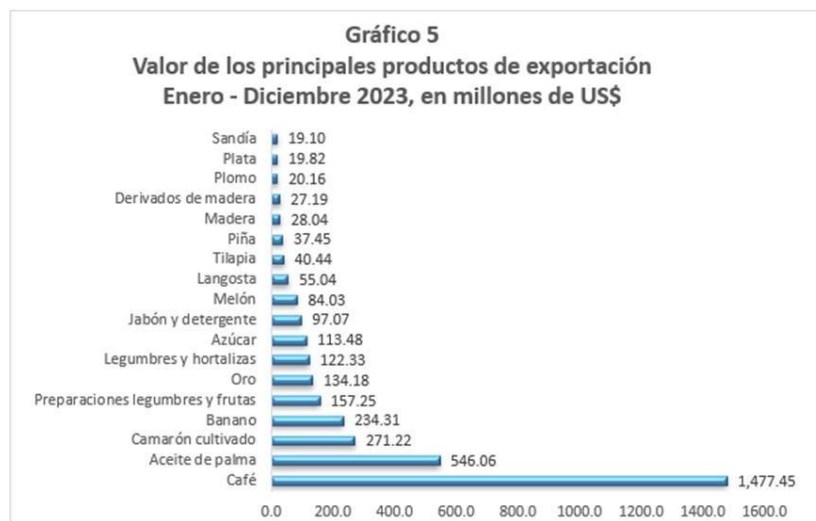
calidad y consistencia. Mediante ello, se elaborarán especímenes y serán comparados cada uno con el fin de evaluar de forma integral el rendimiento del concreto con la adición de la fibra en relación con el concreto simple. Tal comparativa se evaluará a través de los ensayos de resistencia a flexión y compresión del concreto basados en las normas ASTM, las cuales son indicadores de la durabilidad y capacidad de carga del concreto, además de ello, proporcionar resultados sobre la eficacia de la fibra de pseudotallo de banano como aditivo suplementario. Posteriormente, a través de los resultados obtenidos se determinará la proporción óptima de fibra que maximiza y ofrezca mejor rendimiento en las propiedades mecánicas del concreto. Asimismo, se llevará a cabo un análisis costo-beneficio para evaluar económicamente el uso de la fibra en comparación con los materiales convencionales.

II. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Una vez presentada la introducción del proyecto donde se enfatiza el propósito y actividades a realizar, se procede al planteamiento del problema, donde se aborda los antecedentes del problema que ha conllevado al uso de la fibra de pseudotallo de banano en el concreto, describiendo a su vez el enunciado y formulación del mismo, justificación, objetivo general y específicos.

2.1 PRECEDENTE DEL PROBLEMA

En Honduras, uno de los principales productos de explotación agrícola es el banano, figurando este como uno de los principales productos de exportación del país. La **Ilustración 1** presenta el valor, en dólares, de los diversos productos de exportación que generó Honduras en el año 2023, destacando el banano como uno de los productos que mayor se exportó.



Fuente: INE, basados en los registros del SARA, Sistema de Administración de Aduanas.

Ilustración 1. Valores de los principales productos de exportación, año 2023

Fuente: (INE, 2023).

Según Hernández (2021) afirma que los agricultores coinciden en que, entre sus diversos cultivos, el plátano y el banano son los que les proporcionan mayores ganancias. Actualmente, este cultivo ha desplazado al maíz y al frijol como la principal actividad económica en la región. De los 20 agricultores analizados, 14 señalaron al plátano y el banano como sus cultivos principales, seguidos de la papaya, mientras que la malanga, el maíz y los frijoles ocupan un lugar menor en sus siembras.

Santos et al., (2023) mencionan que la producción bananera es uno de los cultivos más rentables y es un cultivo permanente, debido a que la planta se reproduce por retoños cada cierto tiempo. Cada 9 meses, la planta producirá cosecha durante su tiempo de vida, que podrá fluctuar entre 6 y 15 años, dependiendo de las condiciones ambientales y de las prácticas culturales. Luego de este periodo la mata deja de ser productiva y se vuelve desecho orgánico, a su vez Thomas (2010) dice que la mayoría de estos residuos agrícolas son tratados mediante quemas, ya que es un método barato para deshacerse del exceso de biomasa; sin embargo, esto no toma en cuenta el impacto que genera al medio ambiente esta quema.

Esto claramente es un desperdicio de materiales que pueden gozar de una multifuncionalidad. Garavello et al., (2008) mencionan que la necesidad de encontrar multifuncionalidad a los elementos agrícolas debe de ser tomada en cuenta para sacar provecho a toda la productividad agrícola de la región.

Según Armas-Ruiz et al. (2016) En los últimos años, la ingeniería ha puesto mayor atención en el análisis de materiales orgánicos, como las fibras vegetales, que se hallan en abundancia en distintas partes del mundo. Estas fibras provienen de plantas como la cabuya, abacá, paja toquilla, algodón, seda, bambú, balsa, caucho, mimbre, entre otras.

Según Begum & Islam (2013), hoy en día se emplean fibras naturales debido a su fácil obtención y extracción de la naturaleza. Además, sus costos son más bajos en comparación con las fibras sintéticas. Esto se ve potenciado en el caso de Honduras por la sostenida producción agrícola del país, siendo el banano uno de los cultivos más comunes y extendidos, generando asimismo residuos de manera intrínseca.

Esto lleva al estado actual donde se encuentra el sector de la construcción establecer nuevas tecnologías más económicas, sostenibles e innovadoras. Para este caso, la ingeniería de materiales y la investigación pueden aportar soluciones para este problema.

Estos problemas se ven acrecentados por los contaminantes que resultan ser las construcciones de concreto cuyo principal material es el cemento. Que a grandes rasgos según Iniya & Nirmalkumar (2021) el cemento es el artefacto más utilizado del mundo, con un uso anual estimado de alrededor de 2.86 mil millones de toneladas de cemento. Sin embargo, la producción de cemento es perjudicial para el medio ambiente gracias a las emisiones de dióxido de carbono. Se estima que se libera a la atmósfera aproximadamente 0,8 toneladas de CO₂ por tonelada producida.

Esta última información es crucial para determinar que todas las estructuras de concreto son altamente contaminantes, lo que ha llevado a la búsqueda de múltiples formas para lograr un equilibrio ecosostenible entre la construcción moderna, vital para el desarrollo de la sociedad, y el aprovechamiento de fibras naturales, que generalmente son tratadas como desechos o utilizadas en la industria textil, donde no se están aprovechando al máximo sus capacidades mecánicas.

En el caso de la fibra del banano, como se ha mencionado anteriormente, se trata de un material con fuertes capacidades mecánicas, por ende, esto ha generado una considerable expectativa en el ámbito de la construcción.

De este modo, se llega a una realidad donde la integración de las fibras naturales en la construcción no solo ofrecería una solución prometedora para reducir el impacto ambiental en la producción de concreto, sino que también representa una oportunidad para utilizar materiales subestimados que de otra manera serían considerados como residuos. Las investigaciones en torno a la fibra del pseudotallo del banano destacan su potencial en alterar y mejorar principalmente las propiedades mecánicas del concreto, sin descartar la posibilidad de que también pueda mejorar sus propiedades químicas debido a la presencia de fosfatos y algunas proteínas sódicas, que podrían beneficiar las reacciones del mismo. Este enfoque responde a la necesidad de reducir las emisiones de carbono asociadas principalmente a la descomposición y quema de estos residuos, los cuales pueden convertirse en recursos de alto valor agregado.

Además, el uso de fibras naturales como las del banano podría beneficiar significativamente a las comunidades agrícolas. En países como Honduras, conocida como la República bananera, se suelen valorar los residuos del cultivo de banano como simples desperdicios. Sin embargo, su aprovechamiento en la construcción podría crear un incentivo económico adicional para estos agricultores, mejorando su sustento y contribuyendo al desarrollo rural. Esto diversifica las fuentes de ingresos y fortalece la resiliencia económica de las comunidades al reducir su dependencia de los monocultivos.

Las investigaciones han comenzado en diferentes partes del mundo para lograr incorporar las fibras vegetales en la ingeniería. La incorporación dichas fibras ofrecen una solución multifacética que aborda tanto los desafíos ambientales como los socioeconómicos.

2.2. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

Abordado los antecedentes y estudios previos efectuados sobre el uso de materiales orgánicos, específicamente la fibra de pseudotallo de banano, en la construcción, se procede a describir el enunciado y formulación del problema, la justificación que respalda el estudio, las preguntas y objetivos de la investigación a tratar.

2.2.1. ENUNCIADO DEL PROBLEMA

“La abundante generación de desechos agrícolas no aprovechadas y falta de materiales sostenibles que existe en el sector constructivo, generan la necesidad de implementar alternativas renovables.”

2.2.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

¿Como influye la incorporación de fibra de pseudotallo de banano en el diseño de concreto, en términos de las propiedades mecánicas con respecto al concreto convencional?

2.3. JUSTIFICACIÓN

La industria de la construcción, caracterizada por su alta demanda en materiales y recursos empleadas en todo proyecto, enfrenta una necesidad por adoptar prácticas más sostenibles. El concreto se destaca por ser uno de los materiales más utilizados en la construcción y, por ende, representa una oportunidad para implementar medidas sostenibles mediante el uso de materiales orgánicos y reciclables. En ese caso, la incorporación de fibra de pseudotallo de banano, un subproducto agrícola que se desecha normalmente se considera como una alternativa a emplear ya que ofrece una solución novedosa para modificar el comportamiento mecánico del concreto. El presente estudio es importante para demostrar como dicha fibra alternativa puede ser agregada de manera efectiva en la mezcla de concreto y generar cambios positivos en las características mecánicas tales como la resistencia a la flexión y compresión. Por ello, esta investigación resulta necesaria para obtener resultados y dar soluciones a las

necesidades económicas y ecológicas en la construcción. El empleo de la fibra de pseudotallo de banano puede implicar la reducción del residuo orgánico y disminuir la dependencia de recursos no renovables. Desde el punto de vista económico, el uso de esta fibra resulta conveniente puesto que puede reducir costos al aprovechar un material de bajo costo y abundante. En términos sociales, la implementación de la fibra puede promover e impulsar la generación de empleo, máxime en zonas rurales del país donde se produce el pseudotallo de banano. En cuanto al ambiente, el reciclaje de este tipo de material contribuye a reducir los residuos y aprovechar los recursos. A través de este estudio se espera identificar cambios en las propiedades mecánicas del concreto con respecto al concreto convencional, lo que podría llevar a obtener un material que aporte a una mayor durabilidad y vida útil de las estructuras.

2.4. PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN

1. ¿Qué método de extracción y tratamiento se lleva a cabo en la fibra antes de incorporarla al concreto?
2. ¿Cuál es la dosificación por peso adecuada para el diseño de la mezcla de concreto que incluye la fibra de pseudotallo de banano según la normativa ACI?
3. ¿Cómo varía la resistencia a la compresión y flexión al adicionar diferentes proporciones de pseudotallo de banano de acuerdo con la normativa ASTM?
4. ¿Cuál es la proporción óptima de fibra de pseudotallo de banano que debe añadirse a la mezcla de concreto para que se logre maximizar la resistencia a flexión y compresión?
5. ¿Cuáles son los diferentes tipos de fallas que se produce en el concreto al agregar la fibra de pseudotallo de banano?
6. ¿Qué ventajas económicas se puede obtener al utilizar la fibra de pseudotallo de plátano en la producción del concreto?

2.5 OBJETIVOS

Expuestas las preguntas de investigación planteadas donde se enfoca en evaluar el efecto de incorporar fibra de pseudotallo de banano en el concreto tomando en cuenta diversos aspectos tales como la dosificación adecuada de la mezcla, efecto en la resistencia a flexión y compresión, proporción óptima de la fibra, la viabilidad económica e impacto ambiental. Se presentan el objetivo general y objetivos específicos que se abordarán en la investigación.

2.5.1 OBJETIVO GENERAL

Desarrollar un diseño de mezcla de concreto con incorporación de fibra de pseudotallo de banano mediante la elaboración por dosificación y pruebas de resistencia a flexión y compresión según normativas ACI y ASTM para evaluar las propiedades físico-mecánicas con respecto al concreto convencional.

2.5.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

A continuación, en base a las preguntas de investigación expuestos, se presentan los objetivos específicos del proyecto:

1. Explicar el proceso de extracción y tratamiento que se realiza a la fibra de pseudotallo de banano.
2. Calcular la dosificación por peso de la mezcla de concreto incorporando la fibra de pseudotallo de banano según las Normas ACI (American Concrete Institute).
3. Evaluar la resistencia a flexión y compresión del concreto empleando diferentes proporciones de fibra de pseudotallo de banano mediante pruebas basados en la normativa ASTM.
4. Determinar la proporción óptima de la fibra de pseudotallo de banano en la mezcla del concreto que podría mejorar las propiedades mecánicas con respecto al concreto convencional.

5. Identificar los diferentes tipos de fallas que se generan en los especímenes de concreto al agregarse la fibra de pseudotallo de banano.
6. Comparar económicamente el metro cúbico del uso de la fibra de pseudotallo de plátano en el concreto con relación al concreto convencional.

III. ESTADO DEL ARTE

3.1 CONCRETO HIDRÁULICO

El término concreto, también denominado hormigón, es una mezcla homogénea de cemento, agregados finos y gruesos y agua en proporciones adecuadas para garantizar su óptimo fraguado y endurecimiento (Orozco et al., 2020). Este material se utiliza como base de las infraestructuras en la mayoría de los países debido a su capacidad para soportar grandes esfuerzos de tensión y compresión, lo que convierte en un material constructivo esencial (Kumarasamy et al., 2020). Su popularidad también radica en su adaptabilidad, buen aislamiento, resistencia al fuego y disponibilidad de los materiales (Zaki et al., 2024). La **Ilustración 2** se esquematiza los componentes que se deben agregar hasta obtener el concreto.

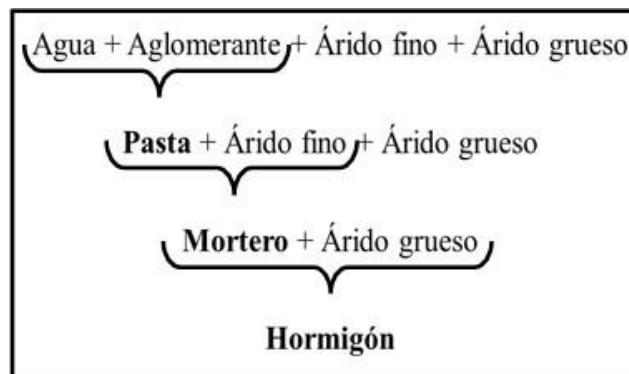


Ilustración 2. Esquema de la composición del concreto.

Fuente: (Orozco et al., 2020).

El diseño del concreto incluye la dosificación, que implica determinar las cantidades adecuadas de los componentes para lograr la resistencia y durabilidad deseada, u obtener un acabado y pegado correctos (Huaricallo Vilca et al., 2023). Dichos componentes que conforman la dosificación se encuentra el cemento, el cual proviene del término opus caementicium de la antigua Roma, es un componente esencial del concreto actuando como adhesivo que fragua, se solidifica y une otros materiales.

Dentro de su composición se incluye el óxido de hierro, yeso, ceniza volante, sílice y óxido de calcio. El agregado fino por su parte, está compuesto por piedra triturada o arena natural con tamaño de 4.75 mm o menos y, el agregado grueso, se refiere a áridos que posee tamaños entre 4.75 mm y 63 mm (Krishnasamy et al., 2024).

En el concreto, la resistencia a la compresión es una de las propiedades mecánicas más importantes, ya que los agregados gruesos actúan como elementos estructurales, mejorando así las propiedades mecánicas del material (He et al., 2024). La resistencia a la compresión se mide mediante la capacidad del elemento para soportar cargas por unidad de área, expresada en términos de esfuerzos, generalmente en kg/cm², MPa o psi (Huaricallo Vilca et al., 2023).

Desde un enfoque práctico, el concreto contiene dos estados principales como ser un estado fresco o plástico, que persiste durante todo el proceso de transporte e instalación y en el cual se realiza manipulación para ajustar y encajar al encofrado, y un estado endurecido, donde alcanza una rigidez que no se puede manipular sin causar alguna fisura visible, convirtiéndose en un elemento sólido que adquiere resistencia a medida que el tiempo de fraguado aumenta (Villegas et al., 2023).

3.2 PROPIEDADES DEL CONCRETO FRESCO

El concreto fresco se refiere a la mezcla de concreto que aún no ha llegado a su proceso de endurecimiento tras la combinación de los diversos componentes en una proporción específica (Cai & Liu, 2023). Esta mezcla presenta características como flexibilidad, trabajabilidad, consistencia y uniformidad. La manejabilidad del mismo depende de ciertos factores, incluyendo la cantidad de cemento, agregados y finura. A mayor cantidad de concreto, mayor será la calidad. La cantidad de agua que se añade mejora la trabajabilidad del concreto; una mayor cantidad de agua aumenta la plasticidad del concreto, pero reduce la resistencia y durabilidad debido a una menor compactación.

Tras el vertido, el concreto pasa de un estado fresco a uno endurecido, perdiendo de forma gradual la humedad y ganando dureza (Villegas et al., 2023).

La hidratación del cemento, que es el proceso previo al endurecido, se acopla a una serie de procesos químicos. Todos los cuales ocurren a una velocidad determinada tanto por la naturaleza del proceso como por el estado del sistema en ese instante, siendo su disolución, su difusión y su crecimiento, cada uno implicando procesos moleculares, desde la superficie hasta el núcleo del concreto. Esto significa que buena parte del proceso de endurecido depende de tres grandes procesos moleculares (Bullard et al., 2011). La reacción entre el silicato tricálcico y el agua es conocida como la principal causa del fraguado y endurecimiento de las pastas hechas con estos tipos de cementos Portland. Por esta razón, el silicato tricálcico se ha utilizado como enfoque en el estudio del comportamiento del endurecimiento por hidratación del cemento y el concreto (Bullard, 2008). Así se puede comprender de mejor forma el comportamiento del cemento fresco previo a endurecerse.

3.3 PROPIEDADES DEL CONCRETO ENDURECIDO

Las propiedades de un concreto en estado endurecido son idénticas a las características que refleja su estado fresco. Los estudios de la reología y la optimización de su dosificación en un cemento tipo Portland juegan el papel más importante en la correlación con las propiedades mecánicas, durabilidad y desempeño en campo (Santos et al., 2024). A su vez para cualquier concreto elaborado con cemento tipo Portland de una puzolana estándar en una categoría de resistencia de 42.5 N/mm², se debe tener un cierto cuidado en la resistencia a los sulfatos y en el bajo calor de hidratación. Esto es necesario para cumplir con los requisitos y obtener una mezcla en buen estado. Luego de la hidratación y el endurecimiento del tri-sulfato de calcio, se obtendrá un buen material. Esto será así para todo tipo de concreto, tanto para mezclas autocompactantes como para mezclas normalmente vibradas. Se recomienda, además, que los agregados sean de caliza triturada, disponibles localmente, para lograr una mayor cobertura de los

vacíos y no afectar las propiedades físicas. Esto asegurará que las buenas características de viscosidad plástica y estabilidad de la mezcla fresca se reflejen en un aumento de resistencia en la mezcla endurecida. Esto da a entender que un concreto endurecido sigue reflejando las propiedades químicas de una mezcla en estado fresco, de tal modo que realmente la única gran diferencia viene del endurecimiento del silicato tricálcico también conocido como Tri-sulfato de calcio (Sfikas et al., 2014).

3.4 PRODUCCIÓN Y EXTRACCIÓN DE LOS MATERIALES

El cemento es el componente principal del concreto y uno de los materiales de construcción más utilizados de manera global. Su demanda está aumentando a una tasa de 9% anual aproximadamente, esto debido a la creciente necesidad del concreto para las construcciones (Satheesh Kumar et al., 2024). La producción del cemento requiere una cantidad de energía significativa y emite aproximadamente 0.9 kg de gases de efecto invernadero por cada kilogramo producido (Zaki et al., 2024).

La extracción de los demás componentes, como el agregado fino y grueso, también tiene su impacto negativo en el medio ambiente, aunque en menor proporción que el cemento (Zaki et al., 2024). Para el concreto de buena calidad, el agregado fino debe ser duro, fuerte, limpio y libre de químicos absorbente y partículas de polvo adicionales que afecte la calidad. Sin embargo, la industria de la construcción utiliza con frecuencia arena de río natural debido a la disponibilidad y bajo costo, aunque sus propiedades afectan la durabilidad y rendimiento mecánico del concreto (Ahmad et al., 2021). La **Ilustración 3** se muestra las etapas que se llevan a cabo para la extracción del material a emplear en el diseño del concreto.



Ilustración 3. Proceso de extracción del material.

Fuente: (Propia, 2024).

3.5 INFRAESTRUCTURA CIVIL

El concreto se destaca por su variedad de ventajas que posee, las cuales incluye alta resistencia mecánica, facilidad de producción y modelado, y costos relativamente bajos. Sin embargo, el concreto se caracteriza por ser un material frágil a menudo con limitada deformabilidad y tendencia a propagar grietas bajo tensiones de tracción (Edris et al., 2024). Durante la construcción, pueden surgir defectos estructurales ya sea por errores de diseño estructural, baja calidad del concreto y mala ejecución (Wahab et al., 2019). Por ello, la sostenibilidad y seguridad de las estructuras han llevado a efectuar y desarrollar materiales inteligentes para mejorar la resistencia y durabilidad del concreto (Dadkhah & Tulliani, 2022).

La investigación moderna se ha enfocado cada vez más en el uso de materiales sostenibles en el concreto para aumentar y mejorar las propiedades mecánicas del

mismo (M. Shah & Ali, 2024). El uso de desechos en el concreto ha recibido un enfoque especial, promoviendo prácticas de construcción sostenibles. Se considera que las reservas naturales deben ser utilizados de manera responsable y los residuos gestionarse de forma eficiente. En el mundo, la cantidad de residuos, la cual asciende a unos 2500 millones de toneladas al año, ha impulsado a una mayor búsqueda e investigación de soluciones sostenibles, como ser el caso de las fibras naturales (Ahmad et al., 2021). En la **Ilustración 4** se presenta un gráfico donde se resalta la aplicabilidad del concreto con fibras naturales en los proyectos de construcción, como ser en carreteras, edificaciones residenciales y estudios únicamente.

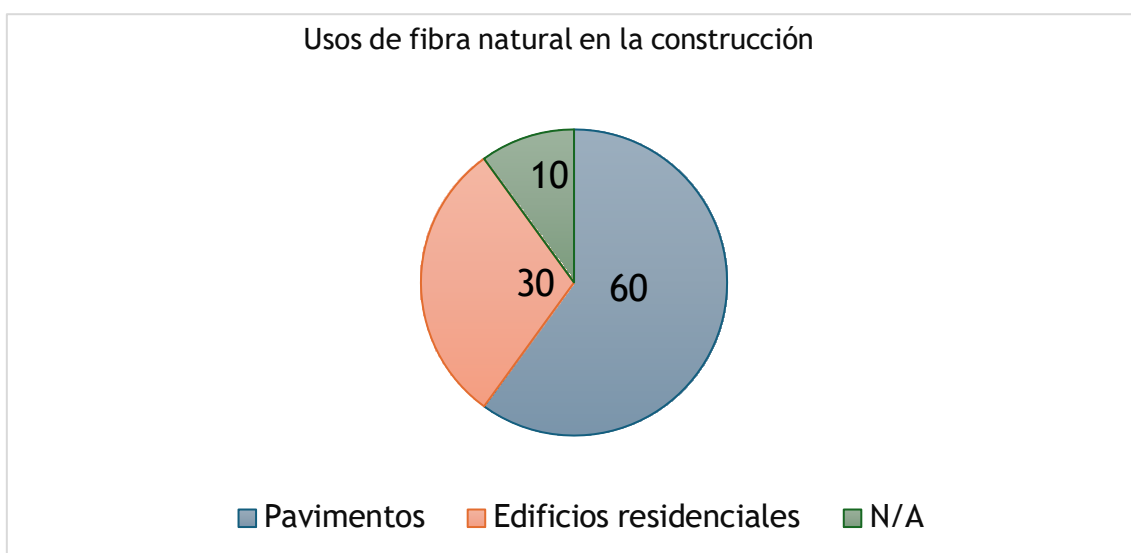


Ilustración 4. Aplicación del hormigón con fibras naturales en diferentes tipos de proyectos de edificación.

Fuente: (Propia, 2024).

Existen una gran variedad de fibras que contiene diversas cualidades que contribuyen a la resistencia mecánica del concreto (M. Shah & Ali, 2024). Los tipos de fibras más comunes que se emplea en el sector de la construcción para reforzar el concreto se encuentra las fibras metálicas y sintéticas, sin embargo, cada vez ha tomado mayor presencia y común el empleo de fibras naturales como refuerzo alternativo (Castillo-Lara et al., 2020). Actualmente, las fibras naturales atraen la atención de los investigadores e ingenieros por ser recursos ecológicos, rentables, livianos y renovables (Bamaga,

2022). La **Ilustración 5** muestra un gráfico comparativo del mercado en el concreto para el año 2020 con adición de fibras sintéticas y naturales respectivamente.

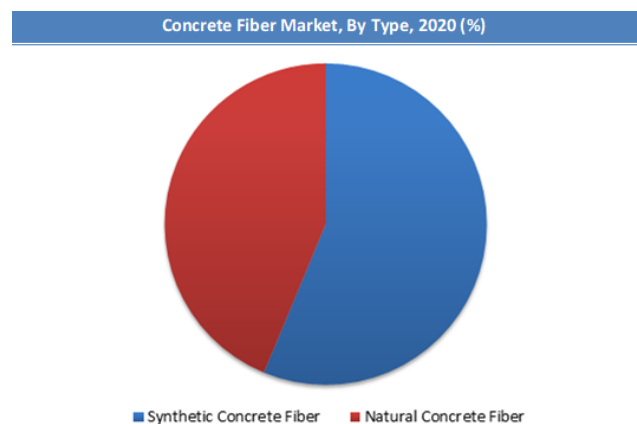


Ilustración 5. Mercado de la fibra sintética y natural, para el año 2020.

Fuente: (Zion Market, 2021)

Entre las fibras sintéticas que se han tomado en cuenta como material para la elaboración del concreto se encuentra el asbesto, carbono, vidrio, entre otras. Por otra parte, las fibras naturales utilizadas para evaluar su incidencia en el concreto abarcan el sisal, el yute, la crin, el plátano, el bambú, las hebras de coco y otras (Edris et al., 2024). La **Ilustración 6** describe los efectos que provoca las fibras naturales en el concreto con relación a la resistencia a compresión y flexión, así como demás propiedades tales como la densidad, durabilidad y absorción.

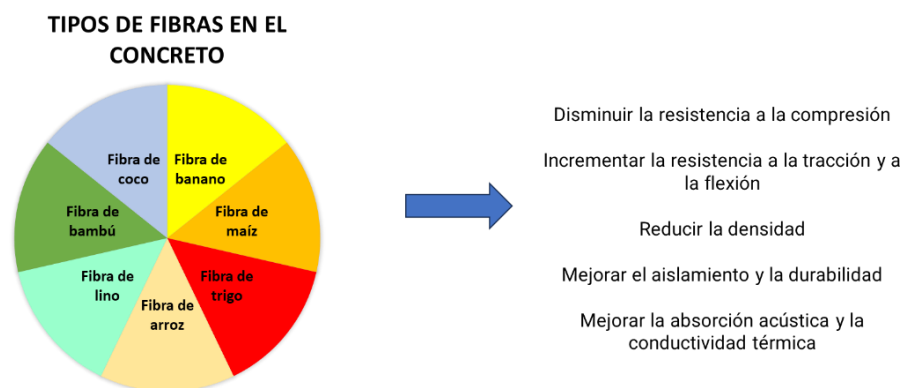


Ilustración 6. El efecto de múltiples fibras aplicadas al hormigón.

Fuente: (Propia, 2024).

3.6 FIBRAS NATURALES

Desde la época de los egipcios, las fibras naturales como ser la paja y la crin se mezclaban y se utilizaban en la construcción para la edificación de paredes y techos de adobe. Con el aumento de las preocupaciones medioambientales, la demanda de materiales de construcción más ecológicos y que contenga buenas propiedades mecánicas ha crecido (I. Shah et al., 2021). En la actualidad, se buscan materiales alternativos para sustituir los materiales compuestos convencionales, ofreciendo así beneficios económicos y ambientales en la infraestructura (Wahab et al., 2019). Los materiales naturales ofrecen una serie de beneficios ambientales, entre ellas que normalmente se producen mediante procesos simples y rápido sin necesidad de mano de obra altamente calificado, baja energía incorporada y el uso de materias primas procedentes de desechos vegetales (Mostafa & Uddin, 2015). La **Ilustración 7** muestra el impacto sostenible de aplicar fibras naturales al concreto en el área medioambiental, económico y social.

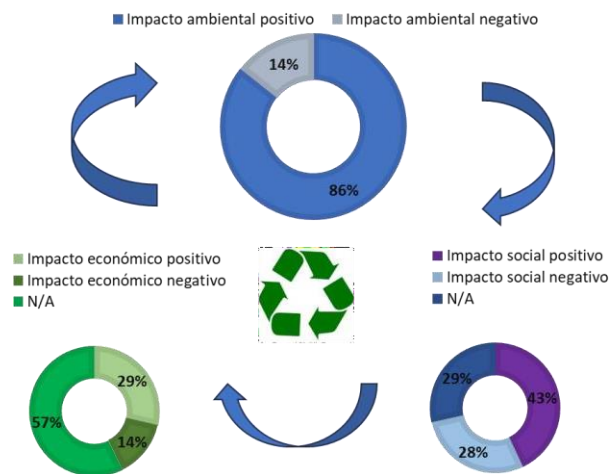


Ilustración 7. Evaluación de la sostenibilidad del hormigón con fibras naturales.

Fuente: (Propia, 2024).

Las fibras naturales se originan de fuentes vegetales, animales y minerales, las cuales pueden identificarse según su procedencia (Kumarasamy et al., 2020). Dicha fibra no

solamente tiene características de ser renovable y reciclable, sino que también presentan ventajas significativas tales como alto rendimiento, bajo costo de procesamiento y densidad baja (I. Shah et al., 2021). Estas características son fundamentales para prolongar la vida útil de las estructuras de concreto, reducir los costos que implica el mantenimiento de la misma y reducir el impacto ambiental. De igual forma, el uso correcto de las fibras naturales y agentes microbianas se alinea con los esfuerzos globales para promover la práctica y desarrollo de construcciones ecológicas, ofreciendo de esa forma una solución rentable y accesible (Zaki et al., 2024). En la **Ilustración 8** se observa un esquema detallado de la clasificación de las fibras naturales según origen animal, vegetal y mineral; el tipo de fibra que se obtiene en cada uno.

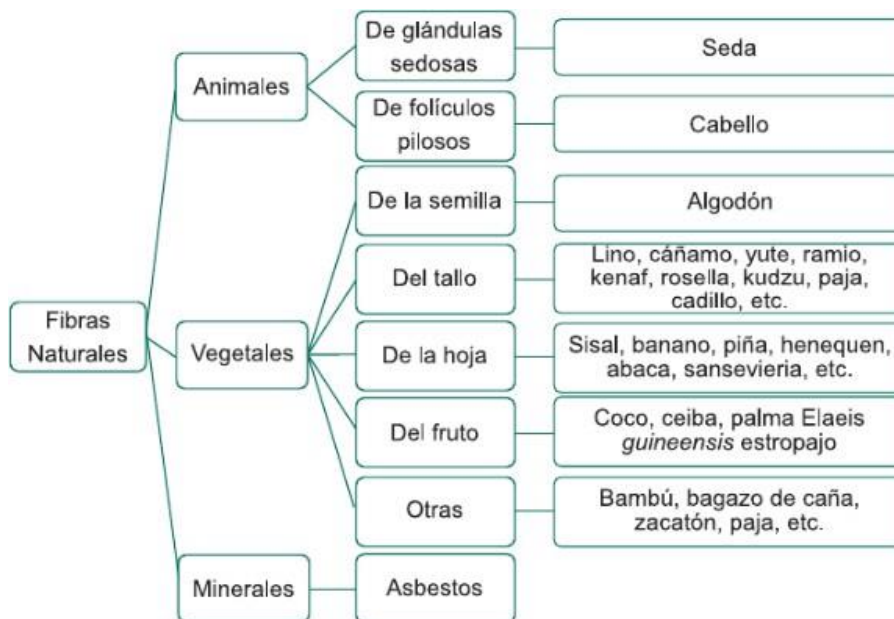


Ilustración 8. Clasificación de las fibras naturales según su origen.

Fuente: (Velásquez et al., 2016).

El uso de fibras provenientes de plantas de rápido crecimiento y alta biomasa es una gran solución como fuente alternativa de materias primas. En recientes investigaciones se ha descubierto y demostrado que las plantas agrícolas específicas que producen alta biomasa tras la cosecha son sustitutos idóneos para industrias específicas que utilizan

fibras. El plátano es un ejemplo que resalta por su rápido crecimiento y alta biomasa que posee (Elbehiry et al., 2020).

3.7 FIBRA DE PSEUDOTALLO DE BANANO

Las fibras de banano, obtenidas del pseudotallo de la planta de plátano denominada *Musa sapientum*, son lignocelulósicas y adecuadas como material de refuerzo en el concreto debido a sus propiedades mecánicas que contiene (Elbehiry et al., 2020). Estudios realizados destacan que existen más de 10 millones de hectáreas de plantaciones de banano, con promedio de 1500 plantas por hectárea en más de 160 países en el mundo, generando toneladas de desechos que emiten gases de efecto invernadero al entrar a su estado de descomposición, contribuyendo así al calentamiento global en la atmósfera, ocasionando un impacto negativo al medio ambiente (Mostafa & Uddin, 2015). En la **Ilustración 9** se observa las fibras del plátano extraídas del pseudotallo.



Ilustración 9. Fibra de banano.

Fuente: (Propia, 2024).

Las plantaciones de banano son muy extensas en todo el mundo, con más de 300 especies perteneciente a la familia Musaceae. Dichas plantaciones se encuentran comúnmente en regiones con clima cálido. En tal sentido, tanto la fibra de jacinto de agua como la fibra de plátano, extraídas de la propia planta, comparten una composición caracterizada por fibrillas de celulosas huecas entrelazadas dentro de una matriz de lignina, celulosa y hemicelulosa. Para el caso de la celulosa y hemicelulosa influyen en la resistencia a la tracción y posee propiedades para absorber la humedad, mientras que la lignina contribuye a la resistencia contra la biodegradación (Edris et al., 2024). La **Ilustración 10** se visualizan las plantaciones bananeras que posee Honduras y que se encuentran localizadas en diversos departamentos.



Ilustración 10. Plantaciones bananeras en Honduras.

Fuente: (Pacheco, 2020).

El contenido de celulosa es un factor decisivo para las propiedades mecánicas de la fibra de plátano en conjunto con el ángulo de las microfibrillas. Un alto contenido de celulosa y un ángulo bajo de microfibrillas confieren propiedades mecánicas óptimas a la fibra de plátano. Las ligninas, asociadas con las hemicelulosas, desempeñan un papel importante en la resistencia natural a la descomposición del material lignocelulósico (Mostafa & Uddin, 2015). La **ilustración 11** describe los porcentajes por los cuales está compuesta la fibra que se obtiene a partir del pseudotallo de plátano.

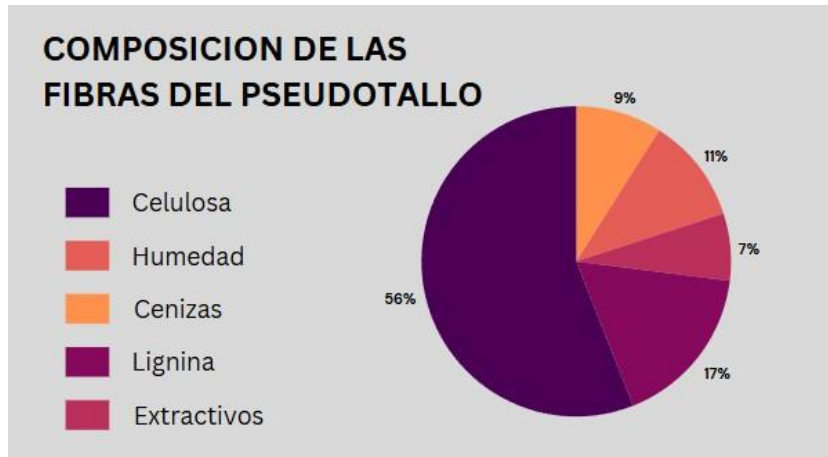


Ilustración 11. Composición de la fibra de pseudotallo de plátano.

Fuente: (Propia, 2024).

3.8 PROPIEDADES MECÁNICAS

Se puede definir el concreto reforzado con fibra como un material compuesto por cemento Portland, agregados finos y gruesos y fibras discontinuas separadas. Mediante la adición de la fibra de plátano al concreto se logra mejorar la homogeneidad e isotropía, transformando el material con características quebradizas a uno con más propiedades dúctiles. Este refuerzo con fibra de plátano impide a su vez la generación y crecimiento de grietas, mejorando sus características de resistencia e impacto (Firasath Ali et al., 2021).

Incorporar fibras al concreto reforzado genera entre otras características beneficiosas como una elevada resistencia a los terremotos, excelente rendimiento a la flexión y corte, capacidad de mejorar la ductilidad y tenacidad de los componentes (Chen et al., 2023). Esto debido a que contiene una resistencia a la tracción similar a la fibra de jute (0.31 N/tex) y cáñamo (0.47 N/tex); diversas propiedades mecánicas entre ellas la dureza, resistencia a deformaciones y elasticidad mejoran las características del material. (Moreno Sáenz & Neusa Rey, 2021).

3.9 CUADRO DE LIMITACIONES

A continuación, se muestra una tabla donde se recopilan las limitaciones obtenidas de las diferentes fuentes bibliográficas.

Tabla 1. Limitaciones de fuentes bibliográficas.

Limitación	Fuentes
No proporcionan información y datos sobre las propiedades físicas de la fibra de pseudotallo de plátano.	(Kumarasamy et al., 2020) (Zaki et al., 2024)
No realizaron pruebas específicas del concreto con adición de fibra de pseudotallo de plátano.	(I. Shah et al., 2021) (Wahab et al., 2019) (Kumarasamy et al., 2020) (Zaki et al., 2024)
Existen pocos estudios sobre el uso de fibras naturales como parte del diseño de mezcla de concreto.	(M. Shah & Ali, 2024)

Fuente: (Propia, 2024).

3.10 TEORÍA DE SUSTENTO

Luego de haber descrito la revisión de la literatura referente a la temática del proyecto a través de diversas investigaciones que se han efectuado sobre dicho tema y subtemas relacionado al mismo en otros países, a continuación, se presenta una recopilación de las diferentes normativas ASTM y ACI que implica el proyecto y fueron empleados para el desarrollo del mismo.

3.10.1 NORMATIVA ASTM

3.10.1.1 NORMA ASTM C29. PESO VOLUMETRICO DE LOS AGREGADOS.

La normativa ASTM C29 establece el método para determinar el peso volumétrico de los agregados finos y grueso en estado suelto y compactado y con ello a su vez conocer el porcentaje de vacíos que contiene dichos agregados, lo cual es importante ya que influye en la calidad y resistencia del concreto. Esta prueba es importante ya que interviene en la selección de proporciones para mezclas de concreto, proporcionando los valores de densidad necesarios para calcular la relación masa/volumen, permitiendo conversiones precisas. Mediante este ensayo se logra determinar el tipo de concreto a diseñar de acuerdo con los resultados de los pesos volumétricos obtenidos de los respectivos agregados en los distintos métodos y con ello también clasificar los agregados en ligero, regular o pesado para conocer el índice de calidad que posee. La importancia de utilizar e tipo y calidad de los agregados no debe ser subestimado ya que los agregados finos y gruesos representa el 60 a 70% del volumen del concreto, lo cual influye de manera notoria en las propiedades del concreto recién mezclado, y en la durabilidad del concreto endurecido (ASTM C29, 2007).

Tipo de Hormigón	PV (lb/pie ³)
Hormigón Aislador Ligero	6-70
Hormigón Estructural Ligero	30-70
Hormigón de Peso Normal	75-110
Hormigón de Gran Peso	110 en adelante.

Ilustración 12. Tipos de concreto según peso volumétrico.

Fuente: (Teruel, 2018).

3.10.1.2 NORMA ASTM C136. ANÁLISIS GRANULOMETRICO DE LOS AGREGADOS.

La norma ASTM C136 permite determinar la distribución del tamaño de las partículas mediante un proceso de tamizado, asegurando que los agregados cumplan con las especificaciones requeridas. Con ello, se logra calcular y conocer el peso y

porcentaje retenido individual, acumulado, y porcentaje pasado de los agregados en cada tamiz. A través del análisis granulométrico, se obtienen diversos factores importantes. Para el caso del agregado fino, se logra calcular el módulo de finura, que se determina mediante la sumatoria del porcentaje acumulado retenido hasta el tamiz #100 dividido entre 100. Dicho valor interviene dentro de la producción de la mezcla de concreto ya que el módulo de finura adecuado de la arena utilizado debe situarse en el rango entre 2.3 y 3.1. De igual forma, por medio del módulo de finura se establece el tipo de arena, donde un valor igual o menor a 2.3 indica una arena fina, entre 2.3 y 3.1 una arena media, y 3.1 o mayor una arena gruesa (ASTM C136, 2014).

Por otro lado, en el agregado grueso se identifican tanto el tamaño máximo del agregado como el tamaño máximo nominal. El tamaño máximo del agregado se define como la abertura del tamiz más pequeño por el cual pasa el 100% de la muestra, mientras que el tamaño máximo nominal es el tamiz más pequeño por el que pasa la mayor parte de la muestra, reteniendo entre el 5% y el 15% de la partícula (ASTM C136, 2014).

Un aspecto también que se considera en la evaluación de los agregados para su uso en la producción de concreto es la curva granulométrica, la cual debe mostrar una continuidad que asegure un buen desempeño en la mezcla final. Se comparan las aberturas de los tamices con el porcentaje pasado de cada agregado, junto con los límites máximos y mínimos establecidos en la norma ASTM C33 (ASTM C136, 2014).

Tabla 2. Parámetros de porcentaje mínimo y máximo de la Arena.

Tamiz	Abertura	% Pasado	% Pasado mínimo	% Pasado máximo
3/8"	9.51	99	100	100
#4	4.76	92	90	100
#8	2.38	80	70	100
#16	1.19	68	40	80
#30	0.595	47	20	60
#50	0.297	20	5	40
#100	0.149	5	0	20
#200	0.074	1.7	0	2

Fuente: (Propia, 2024).

Tabla 3. Parámetros de porcentaje mínimo y máximo de la Grava.

Tamiz	Abertura	% Pasado	% Pasado mínimo	% Pasado máximo
1 1/2"	38.1	100	100	100
1"	25.4	100	90	100
3/4"	19.05	98	60	80
1/2"	12.7	50.9	25	60
3/8"	9.51	18.7	15	45
#4	4.76	2.8	0	20
#8	2.38	2.3	0	6

Fuente: (Propia, 2024).

3.10.1.3 NORMA ASTM C127. PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN DEL AGREGADO GRUESO.

La norma ASTM C127 establece el método para determinar el peso específico y la absorción del agregado grueso. La gravedad específica, se utiliza para calcular la relación entre la masa del agregado y el volumen de agua que ocupa un volumen igual, diferenciando entre la densidad de las partículas individuales y la densidad aparente, que incluye los vacíos entre partículas. Dentro del ensayo se calcula la gravedad específica bulk seca, saturada en condición seca (SSD) y aparente, a partir de los datos obtenidos de peso seco final, peso en condición saturada con superficie seca y sumergido del agregado. Esta medición es importante para diseñar mezclas de concreto hidráulico puesto que determina si el material es bueno o malo, asegurando la calidad y durabilidad del material. Además, la norma evalúa la absorción del agregado, un indicador que permite conocer la cantidad de agua que las partículas pueden retener, lo cual influye en las propiedades del concreto. Los resultados de estas pruebas permiten ajustar las proporciones de la mezcla, optimizando su desempeño en diversos diseños estructurales (ASTM C127, 2007).

3.10.1.4 NORMA ASTM C128. PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN DEL AGREGADO FINO.

La norma ASTM C128 establece el método para determinar el peso específico y absorción de los agregados finos, parámetros considerados para el diseño de mezclas

de concreto. El peso específico se conoce como la relación entre el peso y volumen de una muestra, siendo útil para calcular el volumen de agregados en la mezcla. Esta norma distingue entre la densidad aparente y la densidad relativa, considerando la primera como la masa del material sólido sin incluir los espacios porosos accesibles al agua. Además, el valor de absorción se utiliza para evaluar el incremento en masa debido al agua absorbida por los poros del agregado, dato a tomar en cuenta el cálculo de la humedad superficial. En el ensayo se calculan datos semejantes al ensayo ASTM C127, como ser la gravedad específica bulk seca, saturada con superficie seca, aparente, porcentaje de absorción y agua libre, todo ello mediante valores del agregado obtenidos durante el desarrollo de la práctica, tales son los casos del peso seco final, peso matraz más agua destilada, peso matraz más agua destilada más arena y peso en condición saturada con superficie seca de la muestra (ASTM C128, 2007).

3.10.1.5 NORMA ASTM C40. MÉTODO DE ENSAYO ESTÁNDAR PARA IMPUREZAS ORGÁNICAS EN ÁRIDOS FINOS PARA EL HORMIGÓN.

La norma ASTM C40 determina la presencia de impurezas orgánicas en el agregado fino utilizado en el hormigón. A través de este ensayo se evalúa preliminarmente la aceptabilidad de los agregados según la normativa ASTM C33, ya que las impurezas orgánicas pueden afectar negativamente la resistencia y durabilidad del concreto. El alcance de la norma incluye dos procedimientos: uno que utiliza una solución de color estándar y otro que emplea un estándar de color de vidrio, ambos diseñados para detectar la presencia de impurezas orgánicas en los agregados finos destinados a aplicaciones en cemento, mortero o concreto. Para este caso, el método aplicado consiste en comparar el color de una muestra de agregado fino con un estándar de color, comúnmente en una paleta de vidrio de colores; si la muestra es más oscura, sugiere la presencia de impurezas y la necesidad de realizar pruebas adicionales, como la ASTM C87, para evaluar su impacto en la resistencia. Por otra parte, si muestra un

color claro, significa que su uso no afectara para obtener un concreto con alta resistencia (ASTM C40, 2007).

Tabla 4. Colorimetría de la Arena.

Rango	Indicador de la Arena
#1	No afectara para obtener concreto alta resistencia.
#2	No afectara para obtener concreto media resistencia.
#3	No afectara para obtener concreto baja resistencia.
#4 y #5	No puede emplearse.

Fuente: (Propia, 2024).

3.10.1.6 *NORMA ASTM C172. PRÁCTICA ESTÁNDAR PARA LA TOMA DE MUESTRAS DE HORMIGÓN RECIÉN MEZCLADO.*

La norma ASTM C172 establece requisitos y procedimientos para recolectar muestras de concreto fresco desde diversos contenedores utilizados en su producción y transporte. En ella se detallan aspectos como los materiales de muestreo, el contenido de aire, la temperatura, la cantidad de muestras, y el asentamiento del concreto. Tales aspectos son importantes para garantizar que las muestras sean representativas y que los resultados de las pruebas sean precisos y sin sesgo. Su alcance incluye la toma de muestras desde hormigoneras, pavimentadoras, camiones y otros equipos de transporte. Generalmente se requieren muestras compuestas, excepto en pruebas de consistencia y eficiencia del mezclador, y se recomienda el uso de muestreo aleatorio para cumplir con las especificaciones de calidad. Dentro de los procedimientos también se incluyen la preparación de muestras para pruebas adicionales, como el tamizado húmedo para eliminar partículas grandes (ASTM C172, 2014).

3.10.1.7 NORMA ASTM C143. MÉTODO DE ENSAYO ESTÁNDAR PARA EL ASENTAMIENTO DE HORMIGÓN HIDRÁULICO-CEMENTO.

La norma ASTM C143 establece el procedimiento estándar para medir el asentamiento de la mezcla de concreto para evaluar su consistencia. Este método, inicialmente diseñado para pruebas en laboratorio, determina cómo el contenido de agua afecta el asentamiento del concreto, el cual está inversamente relacionado con su resistencia. El proceso a realizar para dicha prueba consiste en montar una base y el Cono de Abrahms e introducir en ella la mezcla de concreto en tres capas a una altura de 1/3, y por cada una de las capas se apisona aplicando 25 golpes por medio de una varilla de compactación y posterior a ello se despoja el cono levantando de forma perpendicular durante 5 segundos para observar el asentamiento y así medir las diferencias de altura de la mezcla con respecto al cono para deducir el revenimiento del concreto. La norma se aplica a concreto con agregados gruesos de hasta 37.5 mm; para agregados mayores, se realiza el ensayo en la fracción de concreto que pasa el tamiz de 37.5 mm, siguiendo el procedimiento adicional de la norma ASTM C172. Este método no es adecuado para concretos no plásticos o no cohesivos, ya que asentamientos menores a 15 mm o mayores a 230 mm pueden indicar problemas en la plasticidad o cohesión del concreto (ASTM C143, 2008).

3.10.1.8 NORMA ASTM C192. PRÁCTICA ESTÁNDAR PARA LA FABRICACIÓN Y CURADO DE MUESTRAS DE ENSAYO DE HORMIGÓN EN EL LABORATORIO.

La norma ASTM C192 establece los procedimientos para la fabricación y el curado de muestras de ensayo de hormigón en un entorno de laboratorio. Esta norma asegura que los materiales, la mezcla y el curado se realicen bajo condiciones controladas, lo que es importante para obtener muestras representativas y fiables. La norma cubre desde la dosificación y mezcla del concreto hasta la consolidación mediante varilla o vibración, garantizando que las muestras sean adecuadas para evaluar la calidad del

concreto en proyectos, correlacionar con ensayos no destructivos y realizar investigaciones. Además, el cumplimiento de esta normativa facilita la aceptación del concreto en proyectos y asegura la validez de las pruebas, ya que los laboratorios deben cumplir con requisitos adicionales establecidos en la norma C1077, que regula la calificación del personal y el equipamiento. La correcta aplicación de esta norma permite obtener resultados consistentes en las evaluaciones del concreto (ASTM C192, 2007).

3.10.1.9 NORMA ASTM C39. MÉTODO DE ENSAYO ESTÁNDAR PARA LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE PROBETAS CILÍNDRICAS DE HORMIGÓN.

La norma ASTM C39 muestra métodos para determinar la resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos de concreto. Este ensayo permite evaluar la calidad del concreto mediante el control de la dosificación, mezcla y colocación, y así mismo para verificar el cumplimiento de las especificaciones de diseño. La prueba se realiza en cilindros preparados y curados de acuerdo con normativas ASTM C31 y ASTM C192, entre otras, con dimensiones de 6 pulgadas de diámetro y 12 pulgadas de altura, y se limita a hormigón con densidad superior a 800 kg/m³. Mediante los resultados obtenidos se puede evaluar la efectividad de aditivos y asegurar la integridad estructural del concreto (ASTM C39, 2007).

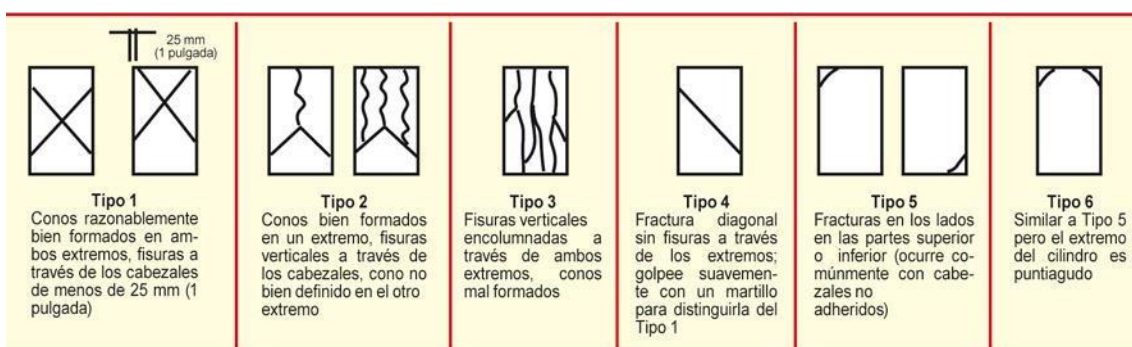


Ilustración 13. Tipos de fracturas en cilindros de concreto.

3.10.1.10 NORMA ASTM C78. MÉTODO DE PRUEBA ESTÁNDAR PARA LA RESISTENCIA A LA FLEXIÓN DEL CONCRETO (USANDO VIGA SIMPLE CON CARGA EN EL TERCER PUNTO).

La norma ASTM C78 define el método para evaluar la resistencia a la flexión del concreto mediante el uso de una viga simple con carga en el tercer punto. A través de esta prueba se logra determinar la capacidad de flexión de probetas de concreto con dimensiones de 6" x 6" x 24", que deben ser preparadas y curadas siguiendo las normativas ASTM C42, ASTM C31 o ASTM C192. La resistencia se reporta como el módulo de ruptura, aunque los resultados pueden variar debido a factores como el tamaño de la muestra, la preparación, la humedad y el método de moldeado. Para este caso, el método empleado para la elaboración de las vigas fue introducir la mezcla dentro del molde en dos capas y apisonar aplicando 72 golpes mediante la varilla de compactación, seguidamente, se aplica 15 golpes con un martillo de goma en cada extremo del molde para eliminar espacios vacíos en la mezcla y posteriormente se enrasa la superficie (ASTM C78, 2007).

3.10.2 NORMATIVA ACI

3.10.2.1 NORMA ACI 211.1-91 PRÁCTICA ESTÁNDAR PARA LA SELECCIÓN DE PROPORCIONES PARA CONCRETO NORMAL, PESADO Y EN MASA.

La norma ACI 211.1-91, titulada "Práctica Estándar para la Selección de Proporciones para Concreto Normal, Pesado y en Masa", establece directrices detalladas para determinar las proporciones adecuadas en la mezcla de concreto, abarcando tanto concreto de peso normal como pesado y en masa. Esta norma aborda aspectos cruciales como la consistencia, resistencia y durabilidad del concreto, y proporciona ejemplos prácticos de cálculos y ajustes necesarios basados en las características del primer lote de prueba. En particular, incluye directrices específicas

para la dosificación del concreto pesado, utilizado en aplicaciones especializadas como la protección contra radiación y la construcción de estructuras de contrapeso en puentes. La normativa facilita la selección precisa de proporciones para asegurar que el concreto cumpla con los requisitos de desempeño deseados en diversas aplicaciones estructurales y funcionales (ACI 211.91, 2009).

Resistencia Compresiva Lb/plg	Relaciones agua-cemento máximas permisibles, por peso.	
	Concreto sin aire incluido	Concreto con aire incluido
2500	0.67	0.54
3000	0.58	0.46
3500	0.51	0.40
4000	0.44	0.35
4500	0.38	-----
5000	-----	-----

Ilustración 14. Relación agua/cemento permisible para concreto de diferentes resistencias compresivas.

Fuente: (Teruel, 2018).

Revenimiento Plg	Cantidad de agua en libras por yarda cubica de concreto para tamaños máximos del agregado indicados.							
	3/8"	1/2"	3/4"	1"	1 1/2"	2"	3"	6"
Concreto sin aire incluido								
1 a 2	350	335	315	300	275	260	240	210
3 a 4	385	365	340	325	300	285	265	230
6 a 7	410	385	360	340	315	300	285	-
Concreto con aire incluido								
1 a 2	305	295	280	270	250	240	225	200
3 a 4	340	325	305	295	275	265	250	220
6 a 7	365	345	325	310	290	280	270	-
% de Aire	3.0	2.5	2.0	1.5	1.0	0.5	0.3	0.2

Ilustración 15. Cantidad de agua y contenido de aire para diferentes revenimientos y tamaño máximo de agregado.

Fuente: (Teruel, 2018).

Tamaño máximo del agregado	Volumen del agregado grueso compactado y seco por volumen unitario de concreto con diferentes módulos de finura de la arena.			
plg	2.40	2.60	2.80	3.00
3/8"	0.5	0.48	0.46	0.44
1/2"	0.59	0.57	0.55	0.53
3/4"	0.66	0.64	0.62	0.60
1"	0.71	0.69	0.67	0.65
1 1/2"	0.75	0.73	0.71	0.69
2"	0.78	0.76	0.74	0.72
3"	0.82	0.80	0.78	0.76
6"	0.87	0.85	0.83	0.81

Ilustración 16. Volumen de agregado grueso por volumen unitario de concreto.

Fuente: (Teruel, 2018).

3.10.2.2 NORMA ACI 544.1R-96 INFORME SOBRE CONCRETO REFORZADO CON FIBRA.

La norma ACI 544.1R-96, titulada "Informe sobre Concreto Reforzado con Fibra", proporciona una revisión exhaustiva sobre el uso de fibras en el concreto, abarcando principios básicos, tipos de fibras y métodos de mezcla y fabricación. Dividida en cinco capítulos, la normativa cubre el concreto reforzado con fibras de acero, vidrio, sintéticas y naturales, como sisal y yute. Estas fibras, que miden hasta 3 pulgadas de largo y 0.04 pulgadas de diámetro, mejoran las propiedades mecánicas del concreto, ofreciendo mayor resistencia a la tracción y reduciendo la aparición de grietas. La norma detalla cómo las fibras contribuyen a la durabilidad y la resistencia estructural del concreto al modificar su comportamiento post-elástico y controlar el agrietamiento. Además, las pruebas de tenacidad evalúan la eficacia de las fibras en mejorar la capacidad de servicio y mantener la integridad estructural a largo plazo (ACI 544.1R, 2009).

3.10.3 CÁLCULOS PARA EL DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO SEGÚN NORMATIVAS ASTM Y ACI

La normativa ACI 211.1 establece los procedimientos y especificaciones para el diseño de mezcla de concreto que debe efectuarse para garantizar las propiedades idóneas tales como la resistencia, durabilidad, trabajabilidad y asentamiento. Mediante esta

normativa se calcula las proporciones, normalmente en unidad libras, de los materiales a utilizar dentro de la mezcla como ser el cemento, arena y grava, a través del método de dosificación por peso. Para dicho cálculo se consideran diversos factores de los materiales entre ellas el tamaño máximo nominal y módulo de finura de la arena, peso volumétrico de la grava, así como la gravedad específica de ambos agregados, todos estos datos obtenidos de pruebas y ensayos específicos para los agregados según normativas ASTM.

Se presenta a detalle las fórmulas empleadas para el diseño de mezcla de concreto según parámetros de la normativa ACI 211.1:

NORMA ASTM C29. PESO VOLUMÉTRICO DE LOS AGREGADOS.

$$\%W = \frac{W_h - W_s}{W_s} \times 100$$

Ecuación 1. Porcentaje de Humedad Promedio.

Fuente: (ASTM C29, 2007).

$$PV_h = \frac{W_h}{V_R}$$

Ecuación 2. Peso volumétrico húmedo.

Fuente: (ASTM C29, 2007).

$$PV_s = \frac{PV_h}{1 + \frac{\%W}{100}}$$

Ecuación 3. Peso volumétrico seco.

Fuente: (ASTM C29, 2007).

NORMA ASTM C136. ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE LOS AGREGADOS.

$$PRA = PA + Pind$$

Ecuación 4. Peso retenido acumulado.

Fuente: (ASTM C136, 2014).

$$\%PRI = \frac{PRA}{Pret\ total}$$

Ecuación 5. Porcentaje peso retenido individual.

Fuente: (ASTM C136, 2014).

$$\%PRA = \%PRI + \%Pactual$$

Ecuación 6. Porcentaje peso retenido acumulado.

Fuente: (ASTM C136, 2014).

$$\%Pasado = 100 - \%PRA$$

Ecuación 7. Porcentaje pasado.

Fuente: (ASTM C136, 2014).

$$\%\varepsilon = \frac{P_o - P_f}{P_o} \times 100$$

Ecuación 8. Porcentaje de error.

Fuente: (ASTM C136, 2014).

$$MF = \frac{\Sigma PRA}{100}$$

Ecuación 9. Módulo de finura.

Fuente: (ASTM C136, 2014).

NORMA ASTM C127. PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN DEL AGREGADO GRUESO.

$$\frac{A}{B - C}$$

Ecuación 10. Gravedad específica bulk seca (Grava).

Fuente: (ASTM C127, 2007).

$$\frac{B}{B - C}$$

Ecuación 11. Gravedad específica bulk SSD (Grava).

Fuente: (ASTM C127, 2007).

$$\frac{A}{A - C}$$

Ecuación 12. Gravedad específica bulk aparente (Grava).

Fuente: (ASTM C127, 2007).

$$\frac{B - A}{A} \times 100$$

Ecuación 13. Porcentaje de absorción (Grava).

Fuente: (ASTM C127, 2007).

Donde:

A = Peso seco final

B = Peso en condición saturada con superficie seca (SSD)

C = Peso sumergido de la muestra

NORMA ASTM C128. PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN DEL AGREGADO FINO.

$$\frac{A}{B + D - C}$$

Ecuación 14. Gravedad específica bulk seca (Arena).

Fuente: (ASTM C128, 2007).

$$\frac{D}{B + D - C}$$

Ecuación 15. Gravedad específica bulk SSD (Arena).

Fuente: (ASTM C128, 2007).

$$\frac{A}{B + A - C}$$

Ecuación 16. Gravedad específica bulk aparente (Arena).

Fuente: (ASTM C128, 2007).

$$\frac{D - A}{A} \times 100$$

Ecuación 17. Porcentaje de absorción (Arena).

Fuente: (ASTM C128, 2007).

Donde:

A = Peso seco final

B = Peso matraz + agua destilada

C = Peso matraz + agua destilada + arena

D = Peso en condición saturada con superficie seca (SSD)

%Humedad total – %Absorción

Ecuación 18. Porcentaje de agua libre.

Fuente: (ASTM C128, 2007).

$$\frac{(62.4 * \text{Peso específico}) - \text{Peso volumetrico}}{62.4 * \text{Peso específico}}$$

Ecuación 19. Porcentaje de hueco.

Fuente: (ASTM C128, 2007).

NORMA ACI 211.1-91 PRÁCTICA ESTÁNDAR PARA LA SELECCIÓN DE PROPORCIONES PARA CONCRETO NORMAL, PESADO Y EN MASA.

$$f'_{cd} = f'_{c} + \gamma$$

Ecuación 20. Resistencia a la compresión de diseño.

Fuente: (ACI 211.91, 2009).

$$\omega_c = \frac{\omega_w}{a/c}$$

Ecuación 21. Peso del cemento.

Fuente: (ACI 211.91, 2009).

$$\omega_g = Vg' + PVg$$

Ecuación 22. Peso de la grava.

Fuente: (ACI 211.91, 2009).

$$V_w = \frac{\omega_w}{\gamma_w}$$

Ecuación 23. Volumen del agua.

Fuente: (ACI 211.91, 2009).

$$V_c = \frac{\omega_c}{\gamma_c}$$

Ecuación 24. Volumen de cemento.

Fuente: (ACI 211.91, 2009).

$$V_g = \frac{\omega_g}{G_{sg} \times \gamma_w}$$

Ecuación 25. Volumen de la grava.

Fuente: (ACI 211.91, 2009).

$$Va = 2.0 \text{ yd}^3/\text{yd}^3$$

Ecuación 26. Volumen de aire.

Fuente: (ACI 211.91, 2009).

$$Vs = V_T - V_w - V_c - V_g - Va$$

Ecuación 27. Volumen de arena.

Fuente: (ACI 211.91, 2009).

$$\omega_s = Vs \times G_{ss} \times \gamma_w$$

Ecuación 28. Peso de la arena.

Fuente: (ACI 211.91, 2009).

$$\omega_T = \omega_w + \omega_c + \omega_g + \omega_s$$

Ecuación 29. Peso total.

Fuente: (ACI 211.91, 2009).

$$\frac{V_c}{V_c} : \frac{V_s}{V_c} : \frac{V_g}{V_c}$$

Ecuación 30. Dosificación x Volumen.

Fuente: (ACI 211.91, 2009).

$$W_w = \frac{\omega_w}{\omega_T} \times W_T$$

Ecuación 31. Peso del agua.

Fuente: (ACI 211.91, 2009).

$$W_c = \frac{\omega_c}{\omega_T} \times W_T$$

Ecuación 32. Peso del cemento.

Fuente: (ACI 211.91, 2009).

$$W_g = \frac{\omega_g}{\omega_T} \times W_T$$

Ecuación 33. Peso de la grava.

Fuente: (ACI 211.91, 2009).

$$W_s = \frac{\omega_s}{\omega_T} \times W_T$$

Ecuación 34. Peso de la arena.

Fuente: (ACI 211.91, 2009).

$$W_T = W_w + W_c + W_g + W_s$$

Ecuación 35. Peso dosificado total.

Fuente: (ACI 211.91, 2009).

$$W_{wcorreg} = W_w - \%AL W_g - \%AL W_s$$

Ecuación 36. Corrección de agua.

Fuente: (ACI 211.91, 2009).

3.10.4 TEORÍA DE ISHIKAWA

Aplicando la teoría de Ishikawa se establecieron categorías de causas que influyen en el problema y necesidad, la cual es modificar las propiedades mecánicas del concreto a través de la fibra y mejorar así la sostenibilidad, reduciendo los residuos agrícolas. Estas categorías incluyen materiales, métodos, medio ambiente, mano de obra, maquinaria y medición. A continuación, se desglosan cada uno de ellos:

Materiales

Propiedades de la fibra: Variabilidad en resistencia a tracción y flexión, que depende del origen y tratamiento de la fibra.

Compatibilidad con el concreto: Necesidad de pruebas o métodos para asegurar que la fibra no reduzca la resistencia del concreto.

Métodos

Preparación de la fibra: Extracción, limpieza y curado con hidróxido de sodio, para obtener adherencia con el concreto.

Proceso de mezcla: Dosificación adecuada de fibra en la mezcla para maximizar beneficios sin comprometer la trabajabilidad.

Métodos de prueba: Ensayos de compresión y flexión conforme a normas ASTM para verificar las propiedades mecánicas.

Medio Ambiente

Gestión de residuos agrícolas: Aprovechamiento del pseudotallo para reducir desperdicio agrícola.

Mano de Obra

Laboratoristas: Personal capacitado para efectuar de forma adecuada las mezclas conforme a las normativas establecidas.

Manejo adecuado de la fibra: Proceso de tratado adecuadamente para mantener sus propiedades.

Equipos

Equipos de tratamiento: Uso de materiales específicos para el curado de la fibra, como sistemas de inmersión en soluciones alcalinas.

Maquinaria de mezcla: Asegurarse de que el equipo de mezclado sea capaz de manejar fibras sin afectar la homogeneidad de la mezcla.

Equipos de prueba: Uso de máquinas de compresión y flexión para los ensayos de resistencia del concreto.

Medición

Evaluación de propiedades mecánicas: Medición de la resistencia a la compresión y flexión del concreto con fibra de pseudotallo.

Control de calidad: Monitoreo de la dosificación con fibra de banano en cada mezcla.

3.11 CONCEPTUALIZACIÓN

Luego de detallar las diferentes normativas a emplearse en el proyecto y desglosar las fórmulas correspondientes a cada una de ellas, como siguiente punto se describirán los términos que abarca el estudio.

Agregado fino

“Agregado que pasa el tamiz de 9,5 mm (3/8 pulg.) y casi en su totalidad pasa el tamiz de 4,75 mm (No. 4) y se retiene predominantemente en el tamiz de 75 μ m (No. 200)” (ASTM C125, 2012).

Agregado grueso

“Agregado que se retiene predominantemente en el tamiz de 4,75 mm (n.º 4)” (ASTM C125, 2012).

Absorción

“Es una medición indirecta de la porosidad del agregado. Los valores de absorción son usados para calcular el cambio en la masa de un agregado debido al agua absorbida en los poros, comparado con la masa en condición seca” (Soler, 2021).

Asentamiento

“El diámetro promedio del concreto extendida masa, obtenida a partir de dos mediciones perpendiculares a entre sí, después de que el hormigón autocompactante haya dejado de fluir durante una prueba de flujo de asentamiento” (ASTM C125, 2012).

Cemento

“Material que desarrolla sus propiedades adhesivas y cohesivas en presencia de agua, y que tiene la característica de formar materiales compactos, con resistencia y durabilidad” (Matallana, 2019, p. 31).

Concreto hidráulico

Es una mezcla de arena, grava, roca triturada, u otros agregados unidos en una masa rocosa por medio de una pasta de cemento y agua. En ocasiones, uno o más aditivos se agregan para cambiar ciertas características del concreto, tales como la ductilidad, durabilidad y tiempo de fraguado. (Mc Cormac & Brown, 2011, p. 1)

Concreto reforzado con fibra

“Hormigón que contiene cemento hidráulico, agua, agregado fino y grueso y fibras discontinuas discretas. Se utilizan fibras de diversas formas y tamaños producidas a partir de acero, plástico, vidrio y materiales naturales” (Mehta & Monteiro, 2001, p. 182).

Contenido de aire

“Volumen total de huecos de aire, tanto incorporados como atrapados, en la pasta de cemento, el mortero o el hormigón. El aire incorporado aumenta la durabilidad del mortero o el hormigón endurecido y la trabajabilidad de las mezclas frescas” (Kosmatka & Wilson, 2011, p. 415).

Dosificación

“El proceso para determinar las cantidades de los componentes del concreto, empleando materiales locales, a fin de lograr las características especificadas” (Matallana, 2019, p. 135).

Fibra de banano

“Son fibras lignocelulósicas de líber que se obtienen del pseudotallo de la planta de banano (*Musa sepientum*)” (Elbehiry et al., 2021).

Granulometría

“Se refiere a la distribución del tamaño de las partículas en una masa de agregados. El ensayo consiste en hacer pasar el 100% de una muestra representativa por una serie de tamices, ordenados de mayor a menor tamaño” (Soler, 2021).

Gravedad específica bulk seca

“Define como el peso de los fragmentos agregados que llenarían una unidad de volumen” (ASTM C125, 2012).

Gravedad específica bulk SSD

Es la masa por unidad de volumen de las partículas sólidas del agregado, más el agua que está dentro de los poros permeables. Pero debe estar en una condición superficialmente seca, es decir, que no haya una lámina de agua cubriendo la superficie de la partícula. (Soler, 2021)

Gravedad específica aparente

“Se define como la densidad del material, incluidos los poros internos, es suficiente” (ASTM C125, 2012).

Impureza orgánica

“Proviene de la descomposición de material vegetal (ácido tánico), manifestándose en forma de humus o margas orgánicas, acompañado normalmente de olor desagradable” (Matallana, 2019, p. 82).

Módulo de finura

Este parámetro aplica para la arena e indica qué tan fina o gruesa es. Valores entre 1,8 y 2,0 indican que se trata de una arena fina; entre 2,3 a 2,7 corresponde a una arena media; y entre 2,8 a 3,0, o más se trata de una arena gruesa. (Soler, 2021)

Peso volumétrico

“Es la masa por unidad de volumen de las partículas de agregado. Para calcular el volumen se incluye el que es ocupado por los sólidos del material y el de los poros impermeables en las partículas” (Soler, 2021).

Pseudotallo

Es la parte de la planta que se asemeja a un tronco, está formado por un conjunto apretado de vainas foliares superpuestas. Aunque el pseudotallo es muy carnosos y está formado principalmente por agua, es bastante fuerte y puede soportar un racimo de 50 kg o más. (Vézina & Baena, 2020)

Relación agua/cemento

“Relación entre la masa de agua y la masa de cemento en el hormigón” (Kosmatka & Wilson, 2011).

Resistencia a la compresión

“Es la capacidad del concreto a resistir un fenómeno de aplastamiento que se ve comúnmente en todos los materiales que se utilizan para la elaboración de estructuras de todo tipo, comenzando por las reticulares” (Hernandez et al., 2018).

Resistencia a la flexión

“Tensión hasta la cual el hormigón es capaz de resistir el agrietamiento bajo carga de tracción axial” (Kosmatka & Wilson, 2011, p. 420).

Tamaño máximo nominal

“Se define como el menor tamiz que le sigue al tamaño máximo y por el cual pasa el 90% o más. Cuando pasa menos del 90% el tamaño máximo nominal se considera igual al tamaño máximo de la muestra” (Soler, 2021).

3.12 MARCO LEGAL

Decreto No 104-93. Ley General del Ambiente

El decreto establece un marco legal para la conservación del medio ambiente y manejo sostenible de los recursos naturales del país. Dicho decreto surge como respuesta a la preocupación por la creciente destrucción de los recursos naturales y degradación del

ambiente, factores que ponen en riesgo el desarrollo económico, social y calidad de vida de la población. El objetivo es lograr el equilibrio entre la explotación de los recursos y protección del ambiente, promoviendo un desarrollo que permita satisfacer las necesidades actuales.

Dentro del decreto se encuentran establecidos los siguientes artículos:

Artículo 1. La protección, conservación, restauración, y manejo sostenible del ambiente y de los recursos naturales son de utilidad pública y de interés social.

El Gobierno Central y las municipalidades propiciarán la utilización racional y el manejo sostenible de esos recursos, a fin de permitir su preservación y aprovechamiento económico.

El interés público y el bien común constituyen los fundamentos de toda acción en defensa del ambiente; por tanto, es deber del Estado a través de sus instancias técnico-administrativas y judiciales, cumplir y hacer cumplir las normas jurídicas relativas al ambiente.

Artículo 2. A los efectos de esta Ley, se entiende por ambiente el conjunto formado por los recursos naturales, culturales y el espacio rural y urbano, que puede verse alterado por agentes físicos, químicos o biológicos, o por otros factores debido a causas naturales o actividades humanas, todos ellos susceptibles de afectar, directa o indirectamente, las condiciones de vida del hombre y el desarrollo de la sociedad.

Artículo 3. Los recursos naturales no renovables deben aprovecharse de modo que se prevenga su agotamiento y la generación de efectos ambientales negativos en el entorno.

Los recursos naturales renovables deben ser aprovechados de acuerdo a sus funciones ecológicas, económicas y sociales en forma sostenible.

Artículo 4. Es de interés público, el ordenamiento integral del territorio nacional considerándolos aspectos ambientales y los factores económicos, demográficos y sociales.

Los proyectos públicos y privados que incidan en el ambiente se diseñarán y ejecutarán teniendo en cuenta la interrelación de todos los recursos naturales y la interdependencia del hombre con su entorno.

Artículo 5. Los proyectos, instalaciones industriales o cualquier otra actividad pública o privada, susceptible de contaminar o degradar el ambiente, los recursos naturales o el patrimonio histórico cultural de la nación, serán precedidos obligatoriamente de una evaluación de impacto ambiental (EIA) que permita prevenir los posibles efectos negativos.

En tal virtud, las medidas de protección del ambiente o de los recursos naturales que resulten de dichas evaluaciones serán de obligatorio cumplimiento para todas las partes, en la fase de ejecución y durante la vida útil de las obras o instalaciones. A tal efecto la Secretaría de Estado en el Despacho del Ambiente creará el sistema nacional de evaluación del impacto ambiental.

En el caso de instalaciones u obras existentes, se estará a lo dispuesto en el Capítulo sobre Disposiciones Finales.

Artículo 6. Las disposiciones de la presente Ley y de las leyes sectoriales referente a la protección de la salud humana y a la protección, conservación, restauración y manejo adecuado de los recursos naturales y del ambiente, serán de obligatoria aplicación en las evaluaciones (EIA), a que se refiere el Artículo anterior.

Artículo 7. El Estado adoptará cuantas medidas sean necesarias para prevenir o corregir la contaminación del ambiente. A estos efectos se entiende por contaminación toda alteración o modificación del ambiente que pueda perjudicar la salud humana, atentar contra los recursos naturales o afectar los recursos en general de la nación.

La descarga y emisión de contaminantes se ajustarán obligatoriamente a las regulaciones técnicas que al efecto se emitan, así como a las disposiciones de carácter internacional, establecidas en convenios o acuerdos bilaterales o multilaterales suscritos por Honduras.

Artículo 8. Se prohíbe la introducción al país, de desechos tóxicos radioactivos, basuras domiciliarias, cienos o lodos cloacales y otros considerados perjudiciales o contaminantes.

El territorio y las aguas nacionales no podrán utilizarse como depósito de tales materiales.

Decreto No 134-90. Ley de Municipalidades

Establece un marco sobre las funciones y responsabilidades de las municipalidades, haciendo énfasis su papel en la gestión local y desarrollo comunitario. Estas competencias otorgan a las municipalidades una significativa autonomía, permitiendo la toma de decisiones e implementar políticas que atiendan las necesidades de las comunidades, la cual abarca desde infraestructura hasta la protección ambiental y promoción cultural, destacando la importancia de ello en el desarrollo regional y bienestar de la población.

Artículo 13. Las municipalidades tienen las atribuciones siguientes:

- 1) Elaboración y ejecución de planes de desarrollo del municipio.
- 2) Control y regulación del desarrollo urbano, uso del suelo y administración de tierras municipales, ensanchamiento del perímetro de las ciudades y el mejoramiento de las poblaciones de conformidad con lo prescrito en la Ley.
- 3) Ornato, aseo e higiene municipal;
- 4) Construcción de redes de distribución de agua potable, alcantarillado para aguas negras y alcantarillado pluvial, así como su mantenimiento y administración.

- 5) Construcción y mantenimiento de vías públicas por si o en colaboración con otras entidades.
- 6) Construcción y administración de cementerios, mercados, rastros y procesadoras de carnes, municipales.
- 7) Protección de la ecología, del medio ambiente y promoción de la reforestación;
- 8) Mantenimiento, limpieza y control sobre las vías públicas urbanas, aceras, parques y playas que incluyen su ordenamiento, ocupación, señalamiento vial urbano, terminales de transporte urbano e interurbano. El acceso a estos lugares es libre, quedando, en consecuencia, prohibido cualquier cobro, excepto cuando se trate de recuperación de la inversión mediante el sistema de contribución por mejoras legalmente establecido.
- 9) Fomento y regulación de la actividad comercial, industrial, de servicios y otros.
- 10) Control y regulación de espectáculos y de establecimientos de diversión pública, incluyendo restaurantes, bares, clubes nocturnos, expendio de aguardiente y similares;
- 11) Suscripción de convenios con el Gobierno Central y con otras entidades descentralizadas con las cuales concurra en la explotación de los recursos, en los que figuren las áreas de explotación, sistemas de reforestación, protección del medio ambiente y pagos que les correspondan. Las entidades con las que las Municipalidades acuerden los convenios mencionados otorgarán permisos o contratos, observando lo prescrito en los convenios.
- 12) Promoción del turismo, la cultura, la recreación, la educación y el deporte;
- 13) Creación y mantenimiento de cuerpos de bomberos.
- 14) Prestación de los servicios públicos locales. Y mediante convenio, los servicios prestados por el Estado o instituciones autónomas, cuando convenga a la municipalidad;
- 15) Celebración de contratos de construcción, mantenimiento o administración de los servicios públicos u obras locales con otras entidades públicas o privadas, según su

conveniencia, de conformidad con la ley. Cuando las municipalidades otorguen el contrato para la construcción de obras o prestación de servicios municipales a empresas particulares con recursos de éstas, podrán autorizarlas a recuperar sus costos y obtener una utilidad razonable, por medio del sistema de cobro más apropiado, sin perjuicio de los derechos que correspondan a la municipalidad;

16) Coordinación e implantación de las medidas y acciones higiénicas que tiendan a asegurar y preservar la salud y bienestar general de la población, en lo que al efecto señala el Código de Salud.

17) Gestión, construcción y mantenimiento, en su caso, de los sistemas de electrificación del municipio, en colaboración con la Empresa Nacional de Energía Eléctrica (ENEE).

18) Coordinación de sus programas de desarrollo con los planes de desarrollo.

IV. METODOLOGÍA

En el capítulo III se describieron de forma teórica el marco conceptual que abarca el proyecto mediante una serie de recopilaciones bibliográficas de estudios previos realizados relacionado con la temática. Asimismo, se detallaron las teorías que sustentan la investigación respaldada con las ecuaciones utilizadas para el desarrollo de los ensayos y diseño de mezcla, así como conceptualizar términos y descripción del marco legal nacional ligadas al proyecto. En el capítulo VI, se presentará el enfoque y variables para la realización del proyecto, a su vez con los instrumentos, técnicas y materiales empleados, acompañado con el cronograma de actividades realizadas.

4.1 ENFOQUE

Para el presente proyecto de investigación se implementará un enfoque cuantitativo por el estudio que conlleva, el cual es evaluar y comparar las propiedades mecánicas del concreto con diferentes porcentajes de fibra de pseudotallo de banano. Este enfoque permite obtener datos precisos del estudio debido al empleo de las diferentes normativas ASTM para la ejecución de ensayos de laboratorios, tales como peso volumétrico, gravedad específica, granulometría, contenido de impurezas, resistencia a la compresión y flexión.

Asimismo, por medio de los ensayos de resistencia se logra recopilar datos numéricos y de esa manera proporcionar información precisa sobre el rendimiento de la fibra en el concreto con relación al concreto convencional.

4.2 VARIABLES DE INVESTIGACIÓN

Luego de haber definido el enfoque a aplicar para el proyecto de investigación, el cual es un enfoque cuantitativo por la naturaleza que consiste el proyecto, el cual es evaluar y comparar las propiedades mecánicas del concreto con fibra en relación con el concreto simple. A continuación, se presenta una tabla de variables de operacionalización donde se detalla el problema, objetivo general y específicos, preguntas de investigación, las variables independientes y dependientes identificadas a partir de la formulación del problema planteado.

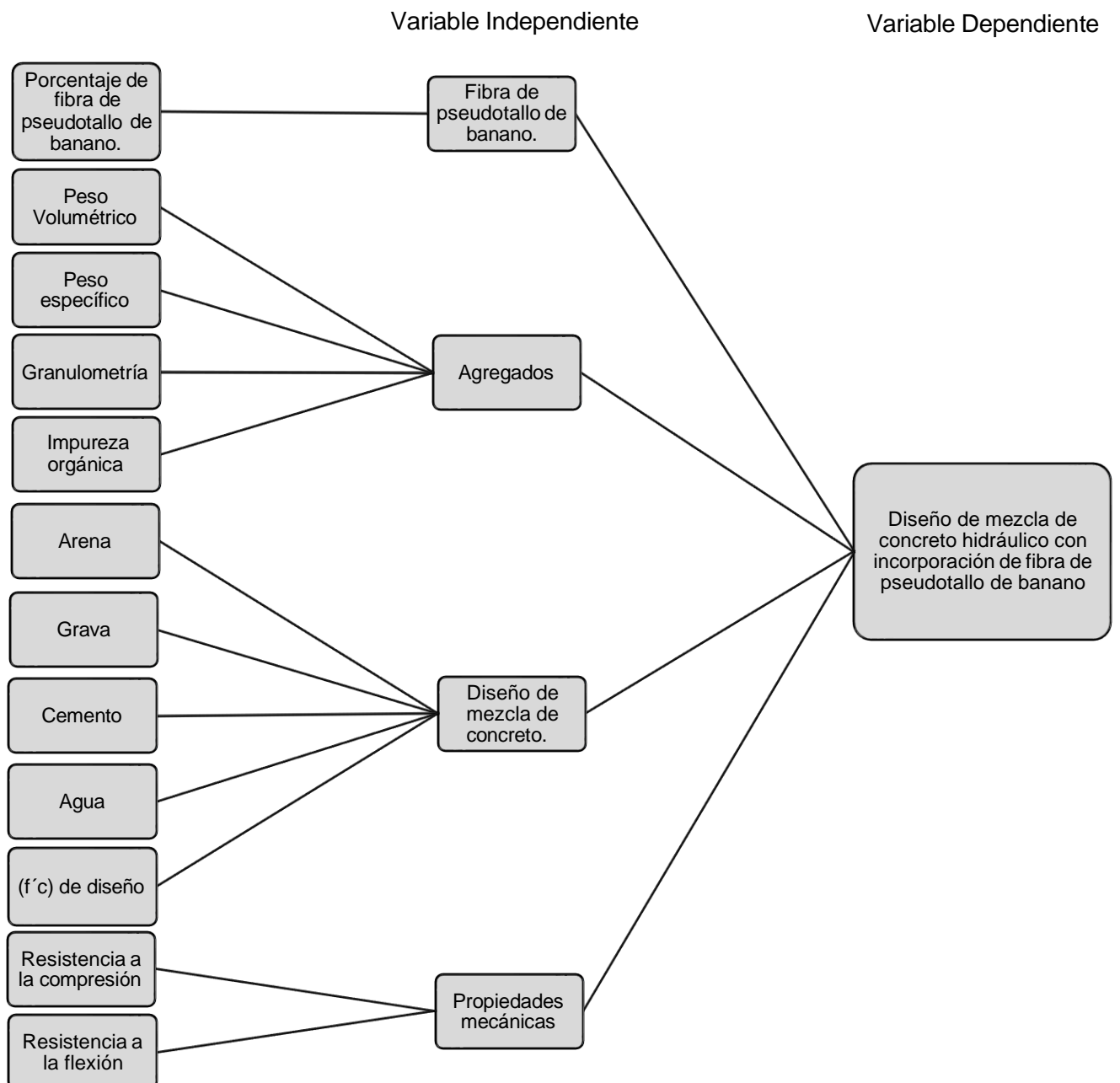
Tabla 5. Variables de Operacionalización.

Propuesta de diseño de mezcla de concreto hidráulico con incorporación de fibra de pseudotallo de banano.					
Título					
Problema	Objetivo General	Preguntas de investigación	Objetivos específicos	Variable Independiente	Variable Dependiente
¿Como influye la incorporación de fibra de pseudotallo de banano en el diseño de concreto en términos de las propiedades mecánicas con respecto al concreto convencional?	Desarrollar un diseño de mezcla de concreto con incorporación de fibra de pseudotallo de banano mediante la elaboración por dosificación y pruebas de resistencia a flexión y compresión según normativas ACI y ASTM para evaluar las propiedades físico-mecánicas con respecto al concreto convencional.	¿Qué método de extracción y tratamiento se lleva a cabo a la fibra antes de incorporarla al concreto?	Describir el proceso de extracción y tratamiento que se realiza a la fibra de pseudotallo de banano.	Fibra de pseudotallo de banano.	Diseño de mezcla de concreto con incorporación de fibra de pseudotallo de banano.
		¿Cuál es la dosificación por peso adecuada para el diseño de la mezcla de concreto que incluye la fibra de pseudotallo de banano según la normativa ACI?	Calcular la dosificación por peso de la mezcla de concreto incorporando la fibra de pseudotallo de banano según las Normas ACI (American Concrete Institute).	Agregados	
		¿Cómo varía la resistencia a la compresión y flexión al adicionar diferentes proporciones de pseudotallo de banano de acuerdo con la normativa ASTM?	Evaluar la resistencia a flexión y compresión del concreto empleando diferentes proporciones de fibra de pseudotallo de banano mediante pruebas basados en la normativa ASTM.	Diseño de mezcla de concreto.	
		¿Cuál es la proporción óptima de fibra de pseudotallo de banano que debe añadirse a la mezcla de concreto para que se logre maximizar la resistencia a flexión y compresión?	Determinar la proporción óptima de la fibra de pseudotallo de banano en la mezcla del concreto que podría mejorar las propiedades mecánicas con respecto al concreto convencional.	Propiedades mecánicas	
		¿Cuáles son los diferentes tipos de fallas que se produce en el concreto al agregar la fibra de pseudotallo de banano?	Identificar los diferentes tipos de fallas que se generan en los especímenes de concreto al agregarse la fibra de pseudotallo de banano.		

Fuente: (Propia, 2024).

4.2.1 DIAGRAMA DE LAS VARIABLES DE OPERACIONALIZACIÓN

En el siguiente apartado se presenta un diagrama de las variables de operacionalización que conlleva el proyecto, donde se resalta la variable dependiente que involucra la investigación, la cual se divide en diferentes variables independientes y esta a su vez en distintos componentes.



Fuente: (Propia, 2024).

4.2.2 TABLA DE OPERACIONALIZACIÓN

A continuación, la presente tabla describe de forma detallada las diferentes variables independientes definidas en el diagrama, proporcionando una definición conceptual y operacional de cada uno, así como especificando las dimensiones, indicador, ítem y escala.

Tabla 6. Tabla de Operacionalización.

Variable Independiente	Definición		Dimensiones	Indicador	Ítem	Escala
	Conceptual	Operacional				
Fibra de pseudotallo de banano	Es un material natural de origen vegetal extraídas del pseudotallo de banano, caracterizada por su ligereza, resistencia a la tracción y biodegradabilidad.	Se refiere a la cantidad y longitud de fibra incorporada a la mezcla de concreto extraída del pseudotallo de banano. Se emplearán proporciones de 1%, 1.5% y 2% con longitud de 1 ½ pulgadas.	Porcentajes de fibra de pseudotallo de banano.	Proporciones de fibra de 1%, 1.5%, 2% y longitud 1"	Porcentaje óptimo de fibra.	Porcentaje (%)
Agregados	Son materiales granulares, normalmente la arena, grava o piedra triturada, mezclada con un aglutinante, como ser el cemento, para la formación del concreto, proporcionando volumen y resistencia a la mezcla.	Proporción y tamaño de partículas de arena y grava que se utilizaran en la mezcla de concreto, medidas en libras y milímetros respectivamente.	Peso Volumétrico	Peso volumétrico seco compactado	Peso volumétrico seco compactado de agregado grueso (grava).	Libra por pie cubico (lb/pe ³).
			Granulometría	Tamaño máximo árido nominal (TMAN).	Porcentaje entre 5% - 15 % retenido en el tamiz #200.	Milímetros (mm).
				Módulo de finura (MF).	1.8 – 2.0 Arena fina	Milímetros (mm).
					2.3 – 2.7 Arena media	
			2.8 – 3.0 Arena gruesa			
			Peso específico	Gravedad específica bulk SSD de la arena.	Valor de peso específico comprendido entre 2.4 – 2.9	
Gravedad específica bulk SSD de la grava.	Valor de peso específico comprendido entre 2.4 – 2.9					
Impureza orgánica	Presencia de materia orgánica.	#1 no afectara para obtener concreto alta resistencia.				
		#2 no afectara para obtener concreto media resistencia.				
		#3 no afectara para obtener concreto baja resistencia.				
		#4 y #5 no puede emplearse.				
Diseño de mezcla de concreto	Es la selección y proporción adecuada de los componentes, como ser el cemento, arena, grava y agua para producir una mezcla de concreto que cumpla con las propiedades de concreto fresco y endurecido.	Se refiere a la proporción de los materiales para el diseño de la mezcla de concreto, tales como la arena, grava, cemento y agua, expresadas en unidad de masa (libras) y volumen (litros), mediante el método de	Arena	Peso de la arena (Ws).	Cantidad de arena a utilizar en la mezcla.	Libra (Lb)
			Grava	Volumen de la grava (V'g).	Cantidad de grava a utilizar en la mezcla.	Libra (Lb)
			Cemento	Relación agua/cemento	Cantidad de cemento a utilizar en la mezcla.	Libra (Lb)
Peso del agua						

		dosificación por peso, según normativa ACI,	Agua	Revenimiento y tamaño máximo nominal	Cantidad de agua a utilizar en la mezcla.	Libra (Lb)
			f'c de diseño	Esfuerzo de control.	Esfuerzo por diseñar y lograr en el concreto.	Libra por pulgada cuadrada (psi).
Propiedades mecánicas	Son las características físicas del concreto que evalúa su comportamiento bajo actuaciones de cargas o esfuerzos, entre ellos la resistencia a la compresión y flexión.	Son valores que se medirán través de ensayos de resistencia a la compresión y flexión según normativa ASTM, medida en libra por pulgada cuadrada (psi).	Resistencia a la compresión.	Revenimiento	Medición iterativa de la mezcla.	Libra por pulgada cuadrada (psi).
				Carga máxima	Valor de carga ejercida.	
				Esfuerzo a compresión	Esfuerzo último	
			Resistencia a la flexión.	Revenimiento	Medición iterativa de la mezcla.	Libra por pulgada cuadrada (psi).
				Carga máxima	Valor de carga ejercida.	
				Módulo de rotura	Esfuerzo último.	

Fuente: (Propia, 2024).

4.2.3 HIPÓTESIS

Definidas las variables de operacionalización que abarca el proyecto, también es importante definir las hipótesis de la investigación y nula que permitan validar el planteamiento propuesto acorde a los resultados obtenidos.

4.2.3.1 HIPÓTESIS DE INVESTIGACIÓN (H1)

La incorporación de fibra de pseudotallo de banano en el diseño de mezcla de concreto modifica las propiedades mecánicas (compresión y flexión) del concreto convencional, alcanzando resistencias superiores a 4000 psi y 600 psi, respectivamente.

4.2.3.2 HIPÓTESIS NULA (H0)


La incorporación de fibra de pseudotallo de banano en el diseño de mezcla de concreto no modifica las propiedades mecánicas (compresión y flexión) del concreto convencional, alcanzando resistencias superiores a 4000 psi y 600 psi, respectivamente.





4.3 TÉCNICAS E INSTRUMENTOS APLICADOS







En el siguiente apartado se presentan las diferentes técnicas aplicadas para el desarrollo del proyecto, así como los instrumentos que se implementaron para el desarrollo del mismo.






4.3.1 INSTRUMENTOS







Tabla 7. Instrumentos aplicados.



Instrumento	Definición	Uso	Limitante
<p>Pala</p> 	<p>Es una herramienta formada por una lámina plana o cóncava y mango, empleada para recoger o transportar materiales (Propia, 2024).</p>	<p>Efectuar el cuarteo de los agregados, colocar los materiales de la mezcla en cubetas.</p>	<p>No tiene limitante.</p>




<p>Balanza</p> 	<p>Es un instrumento que sirve para medir las masas de diferentes objetos (Propia, 2024).</p>	<p>Este equipo se empleó para realizar los pesos de los agregados que corresponde a cada ensayo, así como medir el peso de los materiales obtenidos a partir de la dosificación calculada.</p>	<p>No tiene limitante.</p>
<p>Recipiente $\frac{1}{2}$ pie³ y $\frac{1}{10}$ pie³</p> 	<p>Son instrumentos metálicos y cilíndricos con característica rígida para no deformarse bajo condiciones duras de trabajo (Propia, 2024).</p>	<p>Este equipo sirvió para introducir las muestras de los agregados y efectuar el peso volumétrico por el método suelto y compactado. El recipiente $\frac{1}{2}$ pie³ se utilizó para la grava y el recipiente de $\frac{1}{10}$ pie³ para la arena.</p>	<p>No tiene limitante.</p>
<p>Varilla de compactación</p> 	<p>Es una barra de acero liso y circular con un diámetro de $\frac{5}{8}$ pulgada y longitud de 24 pulgadas y uno de sus extremos semiesférico con un radio de $\frac{5}{16}$ pulgadas (Propia, 2024).</p>	<p>Se utilizó para apisonar la mezcla 25 veces en tres capas y 72 veces en dos capas en los moldes de cilindro y viga respectivamente.</p>	<p>No tiene limitante.</p>
<p>Cuchara de albañil</p> 	<p>Es una herramienta que está compuesta por un mango de madera y lamina triangular metálica, la cual suele ser de acero laminado en frío, siendo más resistente (Propia, 2024).</p>	<p>Colocar la arena en recipiente (ASTM C136) la mezcla de concreto dentro del cono de Abrahms, molde viga y cilindro (ASTM C143, C192).</p>	<p>No tiene limitante.</p>

<p style="text-align: center;">Brocha</p> 	<p>Contiene un mango y conjunto de cerdas para aplicar pintura, sustancia o limpiar una superficie (Propia, 2024).</p>	<p>Eliminar las muestras de agregados que quedan en el borde superior de los recipientes (ASTM C29).</p>	<p>No tiene limitante.</p>
<p style="text-align: center;">Horno</p> 	<p>Es un equipo utilizado comúnmente para secar muestras de laboratorio u otros instrumentos (Propia, 2024).</p>	<p>Este instrumento se utilizó para secar las muestras de grava y arena utilizadas en los diversos ensayos.</p>	<p>No tiene limitante.</p>
<p style="text-align: center;">Recipiente</p> 	<p>Dispone de una cavidad que permite introducir elementos sólidos o líquidos (Propia, 2024).</p>	<p>Se utilizó para colocar los agregados finos y gruesos.</p>	<p>No tiene limitante.</p>
<p style="text-align: center;">Cepillo metálico</p> 	<p>Una herramienta formada por una base de madera fijadas con cerdas metálicas (Propia, 2024).</p>	<p>Se empleó para retirar los agregados finos retenidos en los tamices.</p>	<p>No tiene limitante.</p>
<p style="text-align: center;">Juego de tamices</p> 	<p>Son instrumentos que se utiliza para separar las partículas de mayor tamaño con menor tamaño (Propia, 2024).</p>	<p>Este instrumento se utilizó para la separación por tamaño de las partículas de los agregados.</p>	<p>No tiene limitante.</p>
<p style="text-align: center;">Agitador mecánico</p> 	<p>Es un equipo que agita y efectuar movimientos orbitales, circulares o rotacional para reorientar las partículas (Propia, 2024).</p>	<p>Efectuar el proceso de tamizado de los agregados por un periodo de 15 minutos.</p>	<p>No tiene limitante.</p>

<p>Canasta de inmersión</p> 	<p>Es una canasta que contiene tejido con separación menor de 3 mm y alambre delgado para suspenderse (Propia, 2024).</p>	<p>Se empleó en el ensayo de peso específico para sumergir la grava y medir su peso sumergido.</p>	<p>No tiene limitante.</p>
<p>Picnómetro</p> 	<p>Es instrumento que permite determinar la densidad que contiene el líquido (Propia, 2024).</p>	<p>Este equipo se utilizó en el ensayo de colorimetría para introducir en ella agua destilada y arena.</p>	<p>No tiene limitante.</p>
<p>Molde cónico</p> 	<p>Es un molde metálico en forma de cono truncado con dimensiones de 40 ± 3 mm de diámetro en la parte superior, 90 ± 3 mm en la parte inferior y altura de 75 ± 3 mm (Propia, 2024).</p>	<p>Realizar la prueba de cono y verificar la condición saturada con superficie seca de la arena.</p>	<p>No tiene limitante.</p>
<p>Apisonador</p> 	<p>Es una varilla que posee una masa de 340 ± 15 gramos y superficie circular en la cara con diámetro de 25 ± 3 mm (Propia, 2024).</p>	<p>Se utilizó para aplicar 25 golpes en dos capas de arena colocada en el molde cónico. (ASTM C128).</p>	<p>No tiene limitante.</p>
<p>Embudo</p> 	<p>Es un objeto en forma cónica de vidrio o plástico que se emplea para pasar líquidos de un recipiente a otro (Propia, 2024).</p>	<p>Introducir agua destilada y arena en el picnómetro y beaker.</p>	<p>No tiene limitante.</p>

<p>Piseta</p> 	<p>Es un recipiente cilíndrico con tapa rosca y tubo con abertura para pasar líquido en cantidades mínimas (Propia, 2024).</p>	<p>Se empleó para introducir agua destilada en pequeña cantidad dentro del picnómetro y beaker.</p>	<p>No tiene limitante.</p>
<p>Varilla de vidrio</p> 	<p>Es un tubo delgado de vidrio que se utiliza para disolver y mezclar sustancias (Propia, 2024).</p>	<p>Este instrumento se empleó para mezclar la solución de hidróxido de sodio con agua destilada. (ASTM C40).</p>	<p>No tiene limitante.</p>
<p>Beaker</p> 	<p>Recipiente de vidrio útil para medir volúmenes de líquidos, calentar y mezclar sustancias (Propia, 2024).</p>	<p>Colocar agua destilada, hidróxido de sodio y arena. (ASTM C40)</p>	<p>No tiene limitante.</p>
<p>Vidrio de color</p> 	<p>Es una placa orgánica la cual posee 5 vidrios de colores desde amarillo claro hasta café oscuro y numeradas de 1 a 5 (Propia, 2024).</p>	<p>Se empleó para realizar la comparativa de color que adquiere la arena luego de 24 horas de reposo. (ASTM C40)</p>	<p>No tiene limitante.</p>
<p>Cono de Abrahms</p> 	<p>Es un molde metálico en forma de cono truncado con un diámetro de base de 8 pulgadas y un diámetro superior de 4 pulgadas con altura de 12 pulgadas (Propia, 2024).</p>	<p>Se utilizó para realizar la prueba de revenimiento a la mezcla de concreto.</p>	<p>No tiene limitante.</p>
<p>Martillo de goma</p> 	<p>Es un tipo de martillo compuesto por un mango de goma, a modo de no dañarla</p>	<p>Efectuar golpes en los extremos del molde de cilindro y molde de viga para llenar los vacíos.</p>	<p>No tiene limitante.</p>

	superficie del equipo (Propia, 2024).		
<p>Carreta</p> 	Es un vehículo de una o dos ruedas utilizada para transportar herramientas o materiales (Propia, 2024).	Este equipo se utilizó para verter la mezcla de concreto.	No tiene limitante.
<p>Molde de viga</p> 	Son moldes diseñados con dimensiones establecidas en las normativas ASTM (Propia, 2024).	Se empleó para efectuar las muestras de vigas para los dos diseños de mezcla de concreto.	No tiene limitante.
<p>Molde de cilindro</p> 	Es un molde elaborado en forma cilíndrica con material metálico para realizar muestras de concreto (Propia, 2024).	En ella se realizaron las muestras de cilindros para los dos diseños de mezcla de concreto.	No tiene limitante.
<p>Mezcladora</p> 	Es un equipo que tiene la función de efectuar mezcla de los componentes del concreto (Propia, 2024).	Se utilizó para mezclar los componentes, como ser la arena, grava, cemento, agua y fibra para obtener las dos distintas mezclas de concreto.	No tiene limitante.
<p>Word</p> 	Es una herramienta que permite crear y editar documentos, así como contiene funciones para insertar	Se empleó para realizar el informe de proyecto de investigación.	No tiene limitante.

	imágenes, tablas y revisiones ortográficas (Propia, 2024).		
<p>Power Point</p> 	Es una herramienta para creación de presentaciones visuales donde se puede agregar texto, imágenes, gráficos, diseños, efectos, entre otras (Propia, 2024).	Se utilizó para efectuar la presentación final de los capítulos que conforma el proyecto de investigación.	No tiene limitante.
<p>Ms Project</p> 	Es un software relacionado a la gestión de proyectos que permite planificar actividades, asignar recursos y seguimiento mediante cronogramas o diagramas de Gantt (Propia, 2024).	Se realizó el cronograma de todas las actividades realizadas durante el desarrollo del proyecto.	No tiene limitante.
<p>Zotero</p> 	Es una herramienta que gestiona referencias bibliográficas y permite el ordenamiento y citas de las mismas (Propia, 2024).	Se utilizó para recopilar todas las fuentes de información apoyadas y utilizadas para la elaboración del informe.	No tiene limitante.

Fuente: (Propia, 2024).

4.3.2 TÉCNICAS

Ensayos de laboratorio

Esta técnica se emplea para realizar pruebas y medir de forma controlada los materiales.

Para el caso del proyecto de investigación se evaluaron las propiedades físicas y

mecánicas del concreto con la adición de diferentes proporciones de fibra de pseudotallo de banano con relación al concreto convencional a través de los ensayos de resistencia a la compresión y flexión establecidos en la normativa ASTM, para así comprender el comportamiento y validar las teorías e hipótesis planteadas.

Asesorías

Durante el desarrollo y ejecución del proyecto de investigación se llevaron a cabo diferentes reuniones de asesoría con ingeniero experto en el área, en este caso del diseño y prueba de mezcla de concreto, para brindar orientación, información y recomendaciones apropiadas de los materiales y proceso de tratamiento a la fibra para efectuar de forma correcta los ensayos respectivos al proyecto

Entrevista

Las entrevistas fueron importantes para lograr recopilar información de expertos y profesionales del sector de la construcción sobre el uso de fibras naturales en el concreto y la aplicación del mismo en proyectos civiles.

4.4 MATERIALES

En el siguiente apartado se desglosan los diferentes materiales utilizados en el proyecto para el desarrollo de las muestras de cilindros y vigas de concreto.

Cemento Portland Tipo I

Es un polvo finamente triturado compuesto por clinker a base de silicatos de calcio y, en menor cantidad, el aluminato de calcio que, al mezclarse con agua se forma una pasta que se seca y endurece a temperatura ambiente.

Arena

Es un material granular compuesto por partículas finas como ser rocas y minerales comúnmente con un tamaño de partícula entre 0.0625 mm y 4.75 mm.

Grava

Es un agregado grueso formado por partículas de roca con un tamaño mayor al agregado fino que se obtiene a partir de la trituración de rocas o recolección de depósitos naturales, que varía entre 4.75 mm y 75 mm.

Agua

Es un líquido transparente que actúa como agente de hidratación reaccionando con el cemento para formar una pasta que une los agregados y así preparar la mezcla de concreto, la cual adquiere dureza y resistencia al endurecerse.

Fibra de Banano

Es una fibra vegetal derivada del pseudotallo de banano, el cual este compuesto por celulosa, hemicelulosa y lignina de diferentes grados de suavidad y calidad, lo que permite la producción de hilos para diversos usos.

El Banano también conocido como plátano, es una planta herbácea perenne de gran tamaño, nativa del Sudeste Asiático, pertenece a la familia Musaceae. Carece de verdadero tronco y en su lugar posee vainas foliares que se desarrollan formando estructuras llamadas pseudotallos, similares a fustes verticales de hasta 30 cm de diámetro y 7 m de altura, las se cuentan entre las más grandes del reino vegetal, son lisas, tiernas, oblongas, verdes por el haz y más claras y normalmente glaucas por el envés, dispuestas en espiral, presenta flores femeninas, masculinas y hermafroditas (Domínguez, 2020).

La elección de este tipo de planta es debido a que las fibras de *Musa paradisiaca* son reconocidas por su alta resistencia a la tracción, flexibilidad y durabilidad, lo que mejora la resistencia a la tensión y la flexión del concreto cuando se incorporan en la mezcla. Su estructura interna permite que la fibra actúe como refuerzo, ayudando a prevenir fisuras en el concreto y mejorando su capacidad para soportar cargas. De igual forma,

en el apartado 3.8 del estado del arte se hace énfasis en las propiedades mecánicas que contiene la fibra. En la **Ilustración 18** se muestra las propiedades mecánicas que posee dicha fibra.

Propiedades físicas y mecánicas de la fibra	
Diámetro promedio	0.154 mm
Módulo de elasticidad	384 Mpa
Resistencia a la tracción	0.02 - 0.051 Mpa

Ilustración 18. Propiedades físicas y mecánicas de la fibra de banano

La determinación de sustituir los diferentes porcentajes de fibra establecidos con respecto a la arena fue para evaluar cómo las fibras alteran las propiedades físicas y mecánicas del concreto sin cambiar excesivamente la relación de los componentes básicos de la mezcla.

Además, la sustitución de la arena con fibra mantiene la dosificación de cemento y agua constante, permitiendo una comparación más precisa de la resistencia y flexión entre el concreto convencional y el modificado. Este método de sustitución por volumen o peso ayuda a evaluar el impacto de las fibras en la trabajabilidad y cohesión de la mezcla.

La aplicación de porcentajes de 1%, 1.5% y 2%, a diferencia de otras investigaciones efectuadas con porcentajes menores entre 0.5% a 1%, es para realizar una comparativa y observar el efecto en la trabajabilidad, fallas y resistencia en el concreto, desde porcentajes mayores, como ser 1.5% y 2% hasta porcentajes menores, como es el caso del 1%.

4.5 POBLACIÓN Y MUESTRA

En el siguiente apartado se describen la población y tamaño de muestra que abarca el proyecto de investigación. Se detallan la técnica metodológica empleada para determinar la población de estudio, así como la obtención de los materiales y cantidad de especímenes a elaborar para nuestra muestra.

4.5.1 POBLACIÓN

La población de estudio a definir se utilizó una muestra no probabilística, donde se delimitaron las cantidades de especímenes de concreto con diseño de mezcla de concreto convencional y concreto con adición de fibra de pseudotallo de banano. Para la elaboración de los mismos se realizaron cálculos de dosificaciones donde se consideraron e incluyeron las diferentes proporciones de fibra como ser el 1%, 1.5% y 2%, así como variación en el peso del agregado fino para cada uno de los diseños de mezcla. Por ello, dicha muestra se implementó por la limitación de tiempo que existe, permitiendo que los especímenes representen las variables para evaluar las propiedades mecánicas y obtener resultados relevantes.

En la **Tabla 8** se desglosa la población de los especímenes de concreto a elaborar mediante los dos distintos diseños de mezcla de concreto:

Tabla 8. Cantidad de especímenes de concreto.

Cantidad de especímenes de concreto	Cilindros	Vigas
Concreto convencional		
7 días	2	1
14 días	2	1
28 días	2	1
Concreto con 1% fibra		
7 días	2	1
14 días	2	1
28 días	2	1
Concreto con 1.5% fibra		
7 días	2	1
14 días	2	1

28 días	2	1
Concreto con 2% fibra		
7 días	2	1
14 días	2	1
28 días	2	1
Total	24	12

Fuente: (Propia, 2024).

4.5.2 TAMAÑO DE LA MUESTRA

El tamaño de la muestra está compuesto por la elaboración de 24 muestras de cilindro de concreto y 12 muestras de viga de concreto, con un total de 36 especímenes de concreto. Dichos especímenes se elaboraron mediante diferentes diseños de mezcla, entre ellas el concreto convencional y concreto con adición de fibra de pseudotallo de banano en proporciones de 1%, 1.5% y 2% con longitud de 1 ½”.

Con respecto a los componentes de la mezcla, los agregados utilizados fueron obtenidos por parte de la empresa William y Molina, así como el Cemento Portland tipo I marca BIJAO

En cuanto a la fibra de pseudotallo de banano, esta se obtuvo a partir de las fincas cafetaleras ubicadas en el municipio de San José de Colinas, departamento de Santa Bárbara.

4.6 METODOLOGÍA DE ESTUDIO

A continuación, se plantea la metodología de estudio a emplear en el proyecto, definiendo el tipo de diseño para evaluar el efecto del concreto con adición de fibra de pseudotallo de banano en las propiedades mecánicas y físicas.

4.6.1 TIPO DE DISEÑO

Como siguiente punto, se presenta una ilustración delimitando el enfoque, estudio, diseño, método y técnica a utilizar en la metodología de estudio.

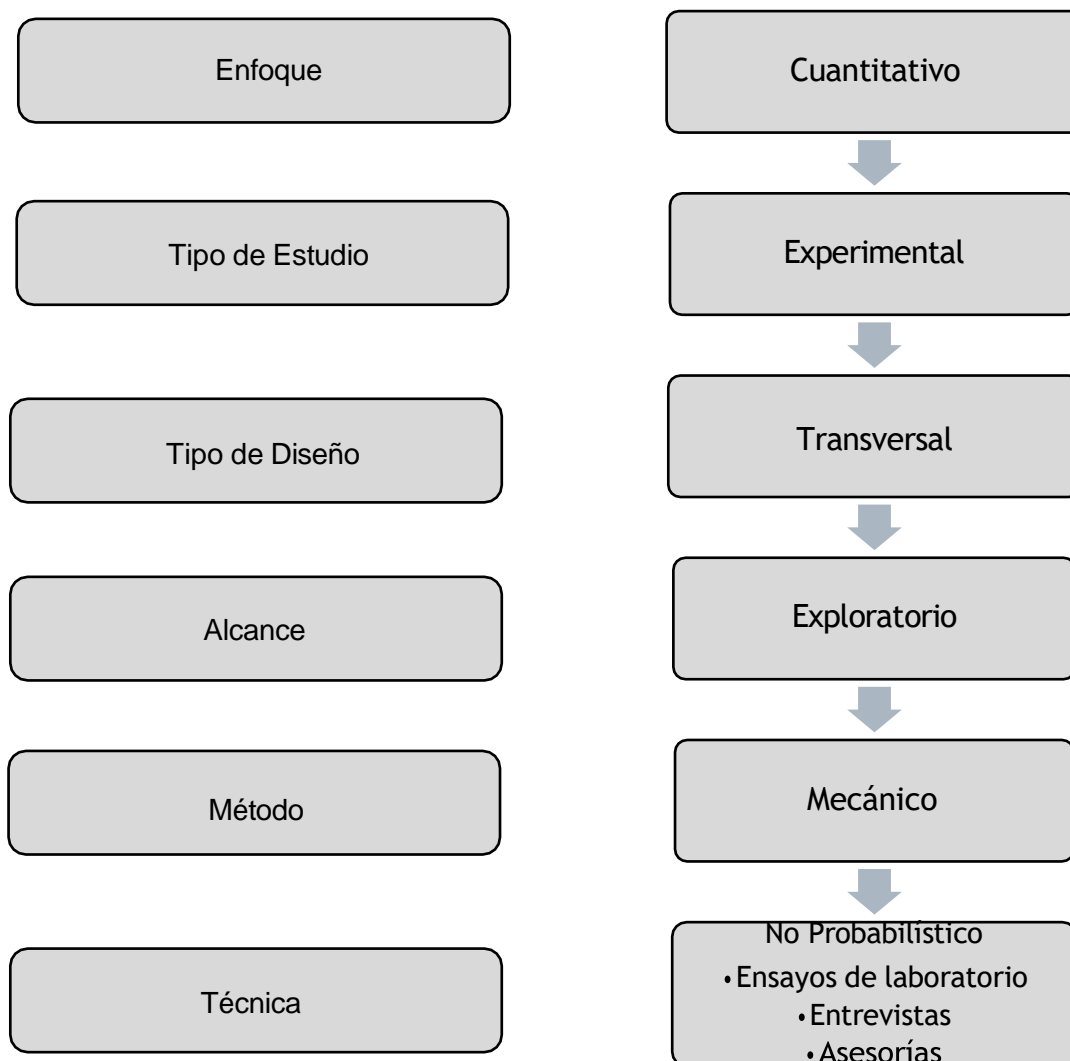


Ilustración 19. Diagrama de metodología de estudio.

Fuente: (Propia, 2024).

Para el presente proyecto de investigación se determinaron que la metodología de estudio a emplear contiene un enfoque cuantitativo, estudio experimental, diseño transversal, alcance exploratorio, método mecánico y técnica no probabilística.

Se infirieron en cada uno de ellos por las siguientes razones:

El enfoque cuantitativo permite recolectar y analizar datos, en este caso, sobre las propiedades mecánicas, como ser las resistencias a la compresión y flexión del concreto, las cuales resultan ser importantes para efectuar comparativas entre el concreto convencional con respecto al concreto con fibra de banano.

El estudio experimental se puede manipular las variables independientes, para este caso, la incorporación de diferentes proporciones de fibra de banano al concreto y establecer relaciones de causa y efecto sobre la incidencia de cada uno en las propiedades mecánicas.

El diseño transversal es útil porque permite efectuar comparaciones de las propiedades mecánicas del concreto convencional y concreto con fibra de banano en tiempos determinados, como ser a los 7, 14 y 28 días.

El alcance exploratorio es ideal puesto que dicho proyecto de investigación se enfoca en un área de estudio que no ha sido ampliamente investigado y de la cual es poca la información que se tiene sobre la aplicación y efecto de la fibra en el concreto.

El método físico aplica al proyecto debido a las pruebas y ensayos de laboratorio que se llevaran a cabo para evaluar las propiedades mecánicas de concreto convencional y concreto con fibra de banano.

La técnica no probabilística resulta correcta ya que para el estudio consiste en probar el efecto que provoca la incorporación de diferentes proporciones de fibra de banano en las propiedades mecánicas del concreto.

4.7 METODOLOGÍA DE VALIDACIÓN

Definidas las distintas metodologías de estudio que fueron aplicadas para el desarrollo del proyecto, a continuación, se presentan las diferentes metodologías o pruebas empleadas que sirvieron de validación para el presente proyecto.

Validez de criterio

Este tipo de validez permite realizar las respectivas comparaciones de la resistencia a la compresión y flexión del concreto convencional con respecto al concreto con diferentes proporciones de fibra de pseudotallo de banano y a su vez poder obtener mayor precisión de los resultados.

Validez de constructo

Mediante dicha validez se puede inferir y verificar, a través de los ensayos de resistencia a la compresión y flexión, si existen efectos en las propiedades mecánicas del concreto al incorporar la fibra de pseudotallo de banano

Igualmente, para la validación de los resultados se consideraron las pruebas de laboratorio para obtener una mayor verificación de la consistencia en dichos resultados, así como validar el cumplimiento de las propiedades, como ser la resistencia y durabilidad, de las muestras de concreto convencional y concreto con adición de fibra de pseudotallo de banano a través de las normativas ASTM y ACI.

4.8 CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES

En el presente apartado, se desglosa un cronograma en donde se detallan las actividades ejecutadas durante el desarrollo del proyecto de investigación denominado “Propuesta de diseño de mezcla de concreto con incorporación de fibra de pseudotallo de banano”. Para ello a su vez se presenta un listado de dichas actividades realizadas por cada semana en orden cronológico mediante el software MS Project.

Semana #1

Dentro de la semana #1 consistió en definir el tema del proyecto de investigación a realizar y, mediante las asesorías recibidas sobre la metodología y redacción de los capítulos I y II correspondientes a dicho proyecto, se procedió con el desarrollo del mismo, redactando la introducción y planteamiento del problema, donde se incluyeron el precedente, enunciado y formulación del problema de estudio, así como la justificación del mismo, preguntas de investigación, objetivos generales y específicos que se pretendió abordar durante el desarrollo del proyecto.

Semana #2

Se continuo con el desarrollo y redacción de los capítulos I y II respectivamente, y la presentación oral del mismo para evaluar el tiempo de exposición y así conocer también los puntos por mejorar y corregir de la información del informe de proyecto antes de la entrega.

Semana #3

En esta semana se realizaron las correcciones dadas por la asesora metodológica en la presentación oral de los capítulos I y II para su entrega del avance #1 del informe, además, se dio una revisión por parte de la asesora temática, la Ing. Ada Rodríguez, posterior a la entrega, para conocer los puntos a corregir y modificar dentro del informe y se llevó a cabo la segunda asesoría metodológica para conocer los parámetros de elaboración de los capítulos III y IV. Así mismo, se realizó la primera asesoría temática

con el Ing. Michael Job, para abarcar diferentes consultas sobre el desarrollo experimental del proyecto. Los puntos abarcados fueron sobre los ensayos de laboratorio a considerar dentro del proyecto, longitud y porcentajes de fibra a utilizar, cantidad de especímenes a realizar.

Semana #4

Se realizaron reuniones de trabajo para la elaboración y redacción de los capítulos III y IV, correspondientes a estado del arte y metodología, respectivamente. Para ello, se recopilaron fuentes bibliográficas de artículos científicos e informes de estudios previos relacionados a la temática para la elaboración del estado del arte. Y, en cuanto a la metodología, se definieron y establecieron el enfoque, variables, técnicas, instrumentos, materiales, población, muestra, metodología de estudio que conlleva el proyecto. De igual forma, se investigó sobre el proceso de extracción y tratamiento que se efectúa a la fibra de banano para su uso en el concreto.

Semana #5

Se dio continuidad a la redacción de los capítulos III y IV para culminar con dichos apartados, efectuar una revisión completa para verificar que cumpla con lo solicitado y realizar la respectiva entrega del avance #2 del informe. Para dicha semana, se realizó la segunda asesoría temática con el Ing. Michael Job, para abordar consultas y dudas sobre el proyecto, entre ellas sobre el f'c de diseño recomendada para la mezcla de concreto, utilizar la fibra de banano como material sustituto de la arena, y entrevistar a ingenieros con conocimiento del tema para obtener información con relación al uso comercial de las fibras naturales en la construcción.

Semana #6

Se realizó la revisión del segundo avance del informe por parte de la asesora metodológica, la Ing. Ada Rodríguez y, se realizó la tercera asesoría metodológica referente al capítulo V, análisis y resultados. Además, se realizó la visita a la empresa

William y Molina para obtener información sobre los ensayos correspondientes a los agregados gruesos y finos, con el fin de poder recopilar los datos necesarios para realizar los cálculos de dosificación.

Semana #7

Se dio inicio con la redacción del capítulo V del informe y efectuar los cálculos de dosificación de la mezcla de concreto con los datos obtenidos de los ensayos realizados a los agregados e incluyendo los porcentajes de 1%, 1.5% y 2% de fibra de banano, para determinar la cantidad, en peso, a dosificar para efectuar 36 muestras de cilindros y vigas, respectivamente. Una vez determinado los pesos de cemento, arena, grava y fibra, se procedió a realizar el proceso de extracción de la fibra, verificando extraer la cantidad requerida para la mezcla.

Semana #8

Se procedió con el tratamiento a la fibra de banano aplicando hidróxido de sodio y agua destilada para eliminar resinas y álcali. Así mismo, se realizó la segunda visita a William y Molina para elaborar las muestras de cilindros y vigas de concreto acorde a la dosificación previamente calculada. En cuanto al informe, se siguió con la redacción del capítulo V para su entrega y, se sostuvo la tercera asesoría temática con el Ing. Michael Job para abordar

Semana #9

Se llevo a cabo la presentación oral de los capítulos I, II, III, IV y V del proyecto. También, se realizó la tercera visita a William y Molina para proceder con los ensayos de resistencia a compresión y flexión de las muestras de cilindro y vigas, respectivamente para evaluar la resistencia alcanzada de dichas muestras a los 7 días.

Semana #10

Se dio seguimiento a la elaboración del capítulo V, tabulando los resultados obtenidos de la resistencia a compresión y flexión de las muestras a los 7 días. Asimismo, se realizó la cuarta visita a William y Molina para efectuar nuevamente los ensayos de resistencia a compresión y flexión de los especímenes a los 14 días. Además, se llevó a cabo la cuarta asesoría metodológica sobre los últimos capítulos correspondientes a la investigación, los cuales son las conclusiones y recomendaciones.



Ilustración 20. Cronograma de Actividades Semana #1.

Fuente: (Propia, 2024).

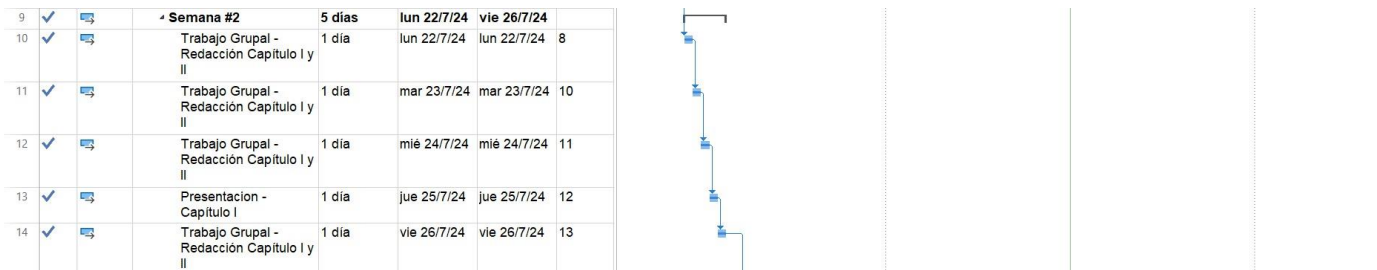


Ilustración 21. Cronograma de Actividades Semana #2.

Fuente: (Propia, 2024).

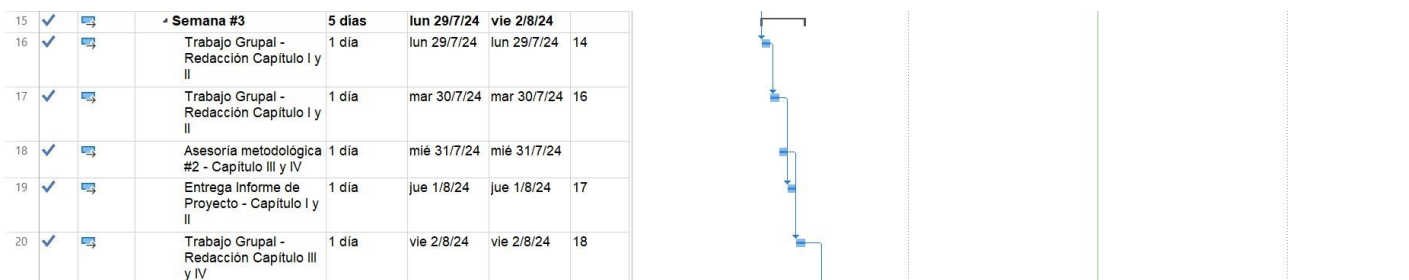


Ilustración 22. Cronograma de Actividades Semana #3.

	✓	🗨️	↳ Semana #4	5 días	lun 5/8/24	vie 9/8/24	
21	✓	🗨️					
22	✓	🗨️	Trabajo Grupal - Redacción Capítulo III y IV	1 día	lun 5/8/24	lun 5/8/24	20
23	✓	🗨️	Trabajo Grupal - Redacción Capítulo III y IV	1 día	mar 6/8/24	mar 6/8/24	22
24	✓	🗨️	Trabajo Grupal - Redacción Capítulo III y IV	1 día	mié 7/8/24	mié 7/8/24	23
25	✓	🗨️	Presentación - Capítulo III	1 día	jue 8/8/24	jue 8/8/24	24
26	✓	🗨️	Trabajo Grupal - Redacción Capítulo III y IV	1 día	vie 9/8/24	vie 9/8/24	25



Ilustración 23. Cronograma de Actividades Semana #4.

Fuente: (Propia, 2024).

	✓	🗨️	↳ Semana #5	5 días	lun 12/8/24	vie 16/8/24	
27		🗨️					
28	✓	🗨️	Trabajo Grupal - Redacción Capítulo III y IV	1 día	lun 12/8/24	lun 12/8/24	26
29	✓	🗨️	Trabajo Grupal - Redacción Capítulo III y IV	1 día	mar 13/8/24	mar 13/8/24	28
30	✓	🗨️	Trabajo Grupal - Redacción Capítulo III y IV	1 día	mié 14/8/24	mié 14/8/24	29
31	✓	🗨️	Trabajo Grupal - Redacción Capítulo III y IV	1 día	jue 15/8/24	jue 15/8/24	30
32	📄	🗨️	Entrega Informe de Proyecto - Capítulo III y IV	1 día	vie 16/8/24	vie 16/8/24	31

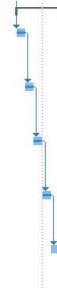


Ilustración 24. Cronograma de Actividades Semana #5.

Fuente: (Propia, 2024).

	📄	🗨️	↳ Semana #6	5 días	lun 19/8/24	vie 23/8/24	
33		🗨️					
34	📄	🗨️	Asesoría metodológica #3 - Capítulo V	1 día	mié 21/8/24	mié 21/8/24	32
35	📄	🗨️	Trabajo Grupal - Redacción Capítulo V	1 día	jue 22/8/24	jue 22/8/24	34
36	📄	🗨️	Trabajo Grupal - Redacción Capítulo V	1 día	vie 23/8/24	vie 23/8/24	35
37	📄	🗨️	Pruebas de laboratorio a los agregados	2 días	lun 19/8/24	mar 20/8/24	

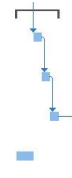


Ilustración 25. Cronograma de Actividades Semana #6.

Fuente: (Propia, 2024).

	📄	🗨️	↳ Semana #7	5 días	lun 26/8/24	vie 30/8/24	
38		🗨️					
39	📄	🗨️	Trabajo Grupal - Redacción Capítulo V	1 día	lun 26/8/24	lun 26/8/24	36
40		🗨️	Trabajo Grupal - Redacción Capítulo V	1 día	mar 27/8/24	mar 27/8/24	39
41		🗨️	Trabajo Grupal - Redacción Capítulo V	1 día	mié 28/8/24	mié 28/8/24	40
42		🗨️	Trabajo Grupal - Redacción Capítulo V	1 día	jue 29/8/24	jue 29/8/24	41
43	📄	🗨️	Corte y extracción de fibra de pseudotallo de banano	5 días	lun 26/8/24	vie 30/8/24	

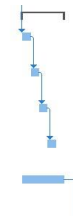


Ilustración 26. Cronograma de Actividades Semana #7.

Fuente: (Propia, 2024).

44			Semana #8	5 días	lun 2/9/24	vie 6/9/24	
45			Proceso de tratamiento a la fibra de banano con hidróxido de sodio	1 día	lun 2/9/24	lun 2/9/24	43
46			Elaboración de especímenes de concreto convencional y fibra de banano	2 días	mar 3/9/24	mié 4/9/24	45
47			Trabajo Grupal - Redacción Capítulo V	1 día	jue 5/9/24	jue 5/9/24	46
48			Trabajo Grupal - Redacción Capítulo V	1 día	vie 6/9/24	vie 6/9/24	47
49			Entrega Informe de Proyecto - Capítulo I, II, III, IV y V	1 día	vie 6/9/24	vie 6/9/24	

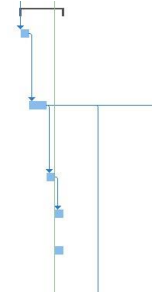


Ilustración 27. Cronograma de Actividades Semana #8.

Fuente: (Propia, 2024).

50			Semana #9	3 días	mar 10/9/24	jue 12/9/24	
51			Presentación - Capítulo I, II, III, IV y V	1 día	mar 10/9/24	mar 10/9/24	
52			Trabajo Grupal - Redacción Capítulo V	1 día	mié 11/9/24	mié 11/9/24	51
53			Ruptura de cilindros y vigas de concreto convencional y fibra de banano a los 7 días	1 día	mié 11/9/24	mié 11/9/24	46
54			Tabulación y registro de resultados	1 día	jue 12/9/24	jue 12/9/24	53



Ilustración 28. Cronograma de Actividades Semana #9.

Fuente: (Propia,2024).

55			Semana #10	5 días	lun 16/9/24	vie 20/9/24	
56			Asesoría metodológica #4 - Capítulo VI y VII	1 día	lun 16/9/24	lun 16/9/24	
57			Trabajo Grupal - Redacción Capítulo V, VI y VII	1 día	mar 17/9/24	mar 17/9/24	56
58			Ruptura de cilindros y vigas de concreto convencional y fibra de plátano a los 14 días	1 día	mié 18/9/24	mié 18/9/24	46
59			Tabulación y registro de resultados	1 día	jue 19/9/24	jue 19/9/24	58
60			Trabajo Grupal - Redacción Capítulo V, VI y VII	1 día	vie 20/9/24	vie 20/9/24	59



Ilustración 29. Cronograma de Actividades Semana #10.

Fuente: (Propia, 2024).

V. ANÁLISIS Y RESULTADOS

Luego de haber descrito la metodología de estudio del proyecto de investigación, especificando las variables de operacionalización, técnicas, instrumentos, materiales, hipótesis que aborda dicho proyecto, a continuación, se presenta los análisis y resultados correspondientes al análisis de los agregados y diseño de mezcla de concreto con adición de fibra de pseudotallo de banano, según las normativas ASTM y ACl, respectivamente. Así mismo, se efectúa los análisis correspondientes a la resistencia a la compresión y flexión de los especímenes de concreto.

5.1 PROCESO DE EXTRACCIÓN Y TRATAMIENTO A LA FIBRA DE PSEUDOTALLO DE BANANO

5.1.1.1 PROCESO DE EXTRACCIÓN

Para la obtención de la fibra de pseudotallo de plátano se llevó a cabo mediante un proceso de extracción que se detalla a continuación en una serie de pasos:

Paso #1: Se seleccionaron diferentes pseudotallos de plátano, observando y procurando que cada una contenga un color uniforme y libres de algún daño o imperfección.

Paso #2: Se procedió a cortar los tallos y hojas que contiene el pseudotallo mediante el uso de un cuchillo afilado.

Paso #3: Una vez cortado los tallos y hojas, se retiraron mediante un cuchillo o de forma manual con manos las capas externas que compone el pseudotallo para exponer las fibras internas evitando a su vez el daño a dichas fibras.

Paso #4: Expuestas las capas internas se procedió a extraer las fibras a través de un proceso de rasgado mediante un cepillo metálico.

Paso #5: Luego de extraer las fibras, se limpiaron con agua ambiente para eliminar cualquier impureza, residuo de pulpa o suciedad.

Paso #6: Se secaron las fibras al aire libre a temperatura ambiente.

5.1.1.2 PROCESO DE TRATAMIENTO

El tratamiento a las fibras de pseudotallo de plátano se realizó a través de un tratamiento químico mediante una solución de hidróxido de sodio (NaOH). El proceso consistió en sumergir la fibra en una cubeta con 200 litros de agua y 400 gramos de hidróxido de sodio durante un periodo de tiempo de 2 horas. Posteriormente, pasada las 2 horas, se procedió a lavar dichas fibras en agua destilada, esto con el fin de eliminar álcalis que pueda contener las fibras. Una vez realizado el proceso de lavado, se secaron a temperatura ambiente por un periodo de 24 horas.

5.2 ANÁLISIS DE LOS AGREGADOS

En el siguiente apartado se desglosan los análisis y resultados obtenidos en los ensayos de laboratorio correspondientes a los agregados fino y grueso, como ser el caso del peso volumétrico, granulometría, gravedad específica e impureza orgánica. Dentro del diseño de mezcla de concreto es importante considerar dichos ensayos para conocer las propiedades que poseen los agregados a utilizar que, en este caso, serán arena y grava $\frac{3}{4}$ ", para la elaboración de los respectivos especímenes de concreto con resistencia de 4000 psi.

5.2.1. PESO VOLUMÉTRICO

5.2.1.1 ENSAYO DE PESO VOLUMÉTRICO DE LOS AGREGADOS (ASTM C29)

A continuación, se presentan el respectivo análisis y resultados del ensayo de peso volumétrico según normativa ASTM C29 para los agregados finos y gruesos (arena y grava $\frac{3}{4}$ "), donde se emplearon la **Ecuación 1**, **Ecuación 2** y **Ecuación 3**, respectivamente, para el cálculo del porcentaje de humedad, peso unitario húmedo y seco, en estado seco y compactado, especificadas en el Capítulo III.

➤ ARENA

Peso Unitario Suelto Húmedo

$$PV = \frac{W_h}{V_R} = \frac{6.272 \text{ kg}}{0.0038 \text{ m}^3} = 1639.45 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \approx 102.35 \text{ lb/pie}^3$$

$$PV = \frac{W_h}{V_R} = \frac{6.301 \text{ kg}}{0.0038 \text{ m}^3} = 1649.50 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \approx 102.97 \text{ lb/pie}^3$$

Peso Unitario Compactado Húmedo

$$PV = \frac{W_h}{V_R} = \frac{6.519 \text{ kg}}{0.0038 \text{ m}^3} = 1724.79 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \approx 107.68 \text{ lb/pie}^3$$

$$PV = \frac{W_h}{V_R} = \frac{6.506 \text{ kg}}{0.0038 \text{ m}^3} = 1720.59 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \approx 107.41 \text{ lb/pie}^3$$

Peso unitario suelto Seco (OD)

$$PV_s = \frac{PV_h}{1 + \frac{\%W}{100}} = \frac{1639.45 \text{ kg/m}^3}{1 + \frac{5.41\%}{100}} = 1555.31 \text{ kg/m}^3 \approx 97.09 \text{ lb/pie}^3$$

$$PV_s = \frac{PV_h}{1 + \frac{\%W}{100}} = \frac{1649.50 \text{ kg/m}^3}{1 + \frac{5.41\%}{100}} = 1564.84 \text{ kg/m}^3 \approx 97.69 \text{ lb/pie}^3$$

$$PV_s = \frac{1555.31 + 1564.84}{2} = 1560.07 \text{ kg/m}^3 \approx 97.39 \text{ lb/pie}^3$$

Peso unitario compactado Seco (OD)

$$PV_s = \frac{PV_h}{1 + \frac{\%W}{100}} = \frac{1724.79 \text{ kg/m}^3}{1 + \frac{5.41\%}{100}} = 1636.27 \text{ kg/m}^3 \approx 107.68 \text{ lb/pie}^3$$

$$PV_s = \frac{PV_h}{1 + \frac{\%W}{100}} = \frac{1720.59 \text{ kg/m}^3}{1 + \frac{5.41\%}{100}} = 1632.28 \text{ kg/m}^3 \approx 101.90 \text{ lb/pie}^3$$

$$PV_s = \frac{1636.27 + 1632.28}{2} = 1634.28 \text{ kg/m}^3 \approx 102.02 \text{ lb/pie}^3$$

En la **Tabla 9** se muestran los resultados de peso volumétrico suelto y compactado en estado húmedo y seco, así como el porcentaje de humedad obtenido para la arena.

Tabla 9. Peso Volumétrico y Porcentaje de Humedad de la Arena

	Ensayo 1	Ensayo 2	
Peso del recipiente (kg)	1.47	1.47	
Temperatura de agua	29	29	
Peso específico del agua (kg/m ³)	1000	1000	
Volumen del recipiente (m ³)	0.0038	0.0038	
Peso del agregado húmedo suelto (kg)	6.272	6.301	
Peso del agregado húmedo compactado (kg)	6.519	6.506	
Peso del agregado suelto (OD) (kg)	5.950	5.978	
Peso del agregado compactado (OD) (kg)	6.184	6.172	
% Humedad	5.41 %		
Peso Unitario Suelto Húmedo (lb/pie ³)	102.35	102.97	
Peso Unitario Compactado Húmedo (lb/pie ³)	107.68	107.41	Promedio
Peso unitario suelto (OD) (lb/pie ³)	97.09	97.69	97.39
Peso unitario compactado (OD) (lb/pie ³)	107.68	101.90	102.02
Peso específico BULK (kg/m ³)	1680.26	1676.17	1678.21
% de Vacíos del agregado	37.50	37.65	38

Fuente: (Propia, 2024).

➤ GRAVA

Peso Unitario Suelto Húmedo

$$PV_h = \frac{W_h}{V_R} = \frac{14.253 \text{ kg}}{0.00933 \text{ m}^3} = 1532.45 \text{ kg/m}^3 \approx 95.67 \text{ lb/pie}^3$$

$$PV_h = \frac{W_h}{V_R} = \frac{14.258 \text{ kg}}{0.00933 \text{ m}^3} = 1533.17 \text{ kg/m}^3 \approx 95.71 \text{ lb/pie}^3$$

Peso Unitario Compactado Húmedo

$$PV_h = \frac{W_h}{V_R} = \frac{14.892 \text{ kg}}{0.00933 \text{ m}^3} = 1624.17 \text{ kg/m}^3 \approx 101.39 \text{ lb/pie}^3$$

$$PV_h = \frac{W_h}{V_R} = \frac{14.905 \text{ kg}}{0.00933 \text{ m}^3} = 1626.08 \text{ kg/m}^3 \approx 101.51 \text{ lb/pie}^3$$

Peso unitario suelto Seco (OD)

$$PV_s = \frac{PV_h}{\frac{\%W}{100}} = \frac{1532.45 \text{ kg/m}^3}{\frac{2.08\%}{100}} = 1501.22 \text{ kg/m}^3 \approx 93.72 \text{ lb/pe}^3$$

$$PV_s = \frac{PV_h}{\frac{\%W}{100}} = \frac{1533.17 \text{ kg/m}^3}{\frac{2.08\%}{100}} = 1501.93 \text{ kg/m}^3 \approx 93.76 \text{ lb/pe}^3$$

$$PV_s = \frac{1501.22 + 1501.93}{2} = 1501.57 \text{ kg/m}^3 \approx 93.74 \text{ lb/pe}^3$$

Peso unitario compactado Seco (OD)

$$PV_s = \frac{PV_h}{\frac{\%W}{100}} = \frac{1624.17 \text{ kg/m}^3}{\frac{2.08\%}{100}} = 1591.08 \text{ kg/m}^3 \approx 99.33 \text{ lb/pe}^3$$

$$PV_s = \frac{PV_h}{\frac{\%W}{100}} = \frac{1626.08 \text{ kg/m}^3}{\frac{2.08\%}{100}} = 1592.95 \text{ kg/m}^3 \approx 99.44 \text{ lb/pe}^3$$

$$PV_s = \frac{1591.08 + 1592.95}{2} = 1592.01 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \approx 99.39 \text{ lb/pe}^3$$

En la **Tabla 10**, se presentan los pesos volumétricos sueltos y compactados en estado húmedo y seco, y el porcentaje de humedad que contiene la grava $\frac{3}{4}$ "

Tabla 10. Peso Volumétrico y Porcentaje de Humedad de la Grava $\frac{3}{4}$ "

	Ensayo 1	Ensayo 2
Peso del recipiente	3.52	3.52
Temperatura de agua	29	29
Peso específico del agua (kg/m3)	1000	1000
Volumen del recipiente (m3)	0.00933	0.00933
Peso del agregado suelto (kg)	14.303	14.309
Peso del agregado compactado (kg)	14.945	14.958
Peso del agregado suelto (OD) (kg)	14.012	14.017
Peso del agregado compactado (OD) (kg)	14.640	14.653
% Humedad	2.08%	
Peso Unitario Suelto Húmedo	95.67	95.71

Peso Unitario Compactado Húmedo	101.39	101.51	Promedio
Peso unitario suelto (OD) (kg/m3)	93.72	93.76	93.74

Peso unitario compactado (OD) (kg/m3)	99.33	99.44	99.39
Peso específico BULK (kg/m3)	1617.40	1619.29	1618.34
% de Vacíos del agregado	40.92	40.85	41

Fuente: (Propia, 2024).

A partir de los resultados obtenidos de los pesos volumétricos en el ensayo, se determinó que el tipo de concreto a diseñar, según la **Ilustración 12**, es un concreto de peso normal, puesto que se encuentran dentro del rango de 75 – 110 lb/pie³.

5.2.2. GRANULOMETRÍA

5.2.2.1 ENSAYO DE ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE LOS AGREGADOS (ASTM C136)

A continuación, se muestran los cálculos efectuados para la arena y grava ¾", con las respectivas tablas y gráficos del análisis y curvas granulométricas de los agregados, con el propósito de conocer la calidad del agregado y que ofrezca un buen desempeño en la mezcla de concreto, así como lograr determinar el módulo de finura y el tamaño máximo de árido nominal, parámetros necesarios para el diseño de mezcla de concreto.

➤ ARENA

Peso retenido individual

$$\text{Tamiz } 3/8'' = 0 \text{ g}$$

$$\text{Tamiz \# 4} = 33 \text{ g}$$

$$\text{Tamiz \# 8} = 160 \text{ g}$$

$$\text{Tamiz \# 16} = 185 \text{ g}$$

$$\text{Tamiz \# 30} = 244.5 \text{ g}$$

$$\text{Tamiz \# 50} = 315.5 \text{ g}$$

$$\text{Tamiz \# 100} = 186 \text{ g}$$

$$\text{Tamiz \# 200} = 38.5 \text{ g}$$

$$\text{Fondo} = 33 \text{ g}$$

Peso Retenido Individual Total

$$\Sigma = 33 + 160 + 185 + 244.5 + 315.5 + 186 + 38.5 + 33 = 1195.5 \text{ g}$$

Peso Retenido Acumulado

$$\text{Tamiz } 3/8'' = 0 \text{ g}$$

$$\text{Tamiz \# 4} = 0 + 33 = 33 \text{ g}$$

$$\text{Tamiz \# 8} = 33 + 160 = 193 \text{ g}$$

$$\text{Tamiz \# 16} = 193 + 185 = 378 \text{ g}$$

$$\text{Tamiz \# 30} = 378 + 244.5 = 622.5 \text{ g}$$

$$\text{Tamiz \# 50} = 622.5 + 315.5 = 938 \text{ g}$$

$$\text{Tamiz \# 100} = 938 + 186 = 1124 \text{ g}$$

$$\text{Tamiz \# 200} = 1124 + 38.5 = 1162.5 \text{ g}$$

$$\text{Fondo} = 1162.5 + 33 = 1195.5 \text{ g}$$

Porcentaje Peso Retenido Individual

$$\text{Tamiz } 3/8'' = \frac{0}{1195.5} \times 100 = 0\%$$

$$\text{Tamiz \# 4} = \frac{33}{1195.5} \times 100 = 2.76\%$$

$$\text{Tamiz \# 8} = \frac{160}{1195.5} \times 100 = 13.38\%$$

$$\text{Tamiz \# 16} = \frac{185}{1195.5} \times 100 = 15.47\%$$

$$\text{Tamiz \# 30} = \frac{244.5}{1195.5} \times 100 = 20.45\%$$

$$\text{Tamiz \# 50} = \frac{315.5}{1195.5} \times 100 = 26.39\%$$

$$\text{Tamiz \# 100} = \frac{186}{1195.5} \times 100 = 15.56\%$$

$$\text{Tamiz \# 200} = \frac{38.5}{1195.5} \times 100 = 3.22\%$$

$$\text{Fondo} = \frac{33}{1195.5} \times 100 = 2.76\%$$

Porcentaje Peso Retenido Individual Total

$$\Sigma = 0 + 2.76 + 13.38 + 15.47 + 20.45 + 26.39 + 15.56 + 3.22 + 2.76 = 100\%$$

Porcentaje Peso Retenido Acumulado

$$\text{Tamiz } 3/8'' = 0\%$$

$$\text{Tamiz \# 4} = 0 + 2.76 = 2.76\%$$

$$\text{Tamiz \# 8} = 2.76 + 13.38 = 16.1\%$$

$$\text{Tamiz \# 16} = 16.1 + 15.47 = 31.6\%$$

$$\text{Tamiz \# 30} = 31.6 + 20.45 = 52.10\%$$

$$\text{Tamiz \# 50} = 52.0 + 26.39 = 78.4\%$$

$$\text{Tamiz \# 100} = 78.4 + 15.56 = 94.0\%$$

$$\text{Tamiz \# 200} = 94.0 + 3.22 = 97.2\%$$

$$\text{Fondo} = 97.2 + 2.76 = 100\%$$

Porcentaje Pasado

$$\text{Tamiz } 3/8'' = 100 - 0 = 100\%$$

$$\text{Tamiz \# 4} = 100 - 2.8 = 97.2\% \approx 97\%$$

$$\text{Tamiz \# 8} = 100 - 16.1 = 83.9\% \approx 84\%$$

$$\text{Tamiz \# 16} = 100 - 31.6 = 68.4\% \approx 68\%$$

$$\text{Tamiz \# 30} = 100 - 52.0 = 48.0\% \approx 48\%$$

$$\text{Tamiz \# 50} = 100 - 78.4 = 21.6\% \approx 22\%$$

$$\text{Tamiz \# 100} = 100 - 94.0 = 6.0\% \approx 6\%$$

$$\text{Tamiz \# 200} = 100 - 97.2 = 2.8\% \approx 3\%$$

$$\text{Fondo} = 100 - 100 = 0\%$$

Módulo de Finura

$$MF = \frac{0 + 2.8 + 16.1 + 31.6 + 52.0 + 78.4 + 94.0 + 97.2}{100} = 2.75\%$$

$$2.3 \leq 2.75 \leq 3.1 \rightarrow \text{Arena media normal}$$

En la siguiente tabla, se establecen los rangos de módulo de finura que presentan los diferentes tipos de arena.

Tabla 11. Módulo de finura de los tipos de arena.

Tipo de arena	Módulo de finura
Arena fina	1.8 – 2.0
Arena media	2.3 – 2.7
Arena gruesa	2.8 – 3.0

Fuente: (Propia, 2024).

Como se observa en la **Tabla 11** la arena analizada y a utilizar para el diseño de mezcla de concreto resulta ser de arena media normal, puesto que el valor obtenido dentro del ensayo, a partir de la **Ecuación 9**, fue de 2.93, el cual se encuentra dentro del rango establecido para dicho tipo de arena.

Porcentaje de Error

$$\% \varepsilon = \frac{P_o - P_f}{P_o} \times 100 = \frac{1196 - 1195.5}{1196} \times 100 = 0.0004\%$$

$$0.2\% < 0.0004\% < 1\% \rightarrow \text{Cumple}$$

Posteriormente, se calculó el porcentaje de error, mediante la **Ecuación 8**, obteniendo como resultado 0%, lo cual significa que cumple con lo establecido en la normativa ya que se encuentra por debajo del porcentaje máximo.

En la siguiente tabla, se muestran el análisis granulométrico efectuado a la arena según la normativa ASTM C136.

Tabla 12. Análisis Granulométrico de la Arena.

Agregado	Tamiz	Equivalente Tamiz (mm)	Peso Retenido Individual	Peso Retenido Acumulado	% Peso Retenido Individual	% Peso Retenido Acumulado	% Pasado
Arena	1"	25.4	0	0	0	0	100
	¾"	19.05	0	0	0	0	100
	½"	12.7	0	0	0	0	100
	3/8"	9.51	0	0	0	0	100
	# 4	4.76	33	33	2.8	2.8	97.2
	# 8	2.38	160	193	13.4	16.1	83.6
	# 16	1.19	185	378	15.5	31.6	68.4
	# 30	0.595	244.5	622.5	20.4	52.0	48.0
	# 50	0.297	315.5	938	26.4	78.4	21.6
	# 100	0.149	186	1124	15.6	94.0	6.0
	# 200	0.074	38.5	1162.5	3.2	97.2	2.8
	Fondo		33	1195.5	2.8	100	0
	Σ			1195.5		100	

Fuente: (Propia, 2024).

Como se observa, en la **Tabla 12** se muestran el peso retenido individual de cada tamiz obtenido a partir del proceso de tamizado, el peso retenido acumulado, porcentaje de peso retenido individual, retenido acumulado y porcentaje pasado de la arena mediante la **Ecuación 4**, **Ecuación 5**, **Ecuación 6**, **Ecuación 7**, establecidas en el Capítulo III.

Seguidamente, la **Ilustración 30** presenta la curva granulométrica de la arena, efectuando una comparativa entre los porcentajes pasados de cada tamiz obtenidos en el ensayo; el porcentaje pasado mínimo y máximo establecidos según la normativa ASTM C136, desglosada en la **Tabla 13**.

Tabla 13. Porcentaje pasado mínimo y máximo de la Arena.

Tamiz	Abertura	% Pasado	% Pasado mínimo	% Pasado máximo
3/8"	9.51	100	100	100
#4	4.76	97.2	95	100
#8	2.38	83.6	80	100
#16	1.19	68.4	50	85
#30	0.595	48.0	25	60
#50	0.297	21.6	10	30
#100	0.149	6.0	2	10

Fuente: (Propia, 2024).

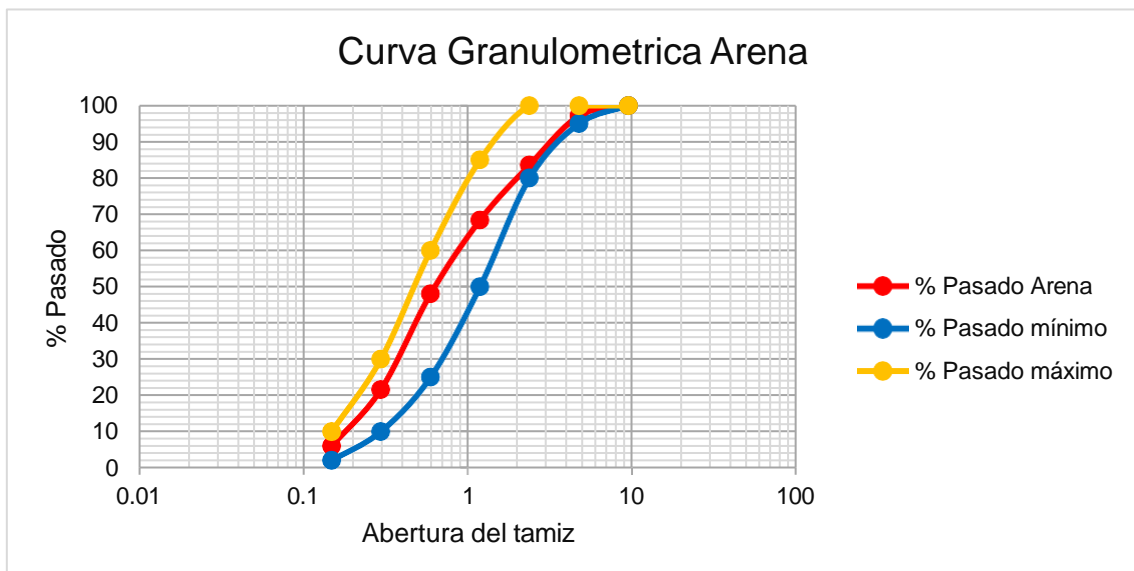


Ilustración 30. Curva Granulométrica de la Arena.

Fuente: (Propia, 2024).

➤ GRAVA

Peso retenido individual

$$\text{Tamiz } 1\frac{1}{2}'' = 0 \text{ g}$$

$$\text{Tamiz } 1'' = 0 \text{ g}$$

$$\text{Tamiz } \frac{3}{4}'' = 103.5 \text{ g}$$

$$\text{Tamiz } \frac{1}{2}'' = 2375.5 \text{ g}$$

$$\text{Tamiz } \frac{3}{8}'' = 1629.5 \text{ g}$$

$$\text{Tamiz } \# 4 = 801.5 \text{ g}$$

$$\text{Tamiz } \# 8 = 27 \text{ g}$$

$$\text{Fondo} = 62 \text{ g}$$

Peso Retenido Individual Total

$$\Sigma = 0 + 0 + 103.5 + 2375.5 + 1629.5 + 801.5 + 27 + 62 = 4999 \text{ g}$$

Peso Retenido Acumulado

$$\text{Tamiz } 1\frac{1}{2}'' = 0$$

$$\text{Tamiz } 1'' = 0 + 0 = 0$$

$$\text{Tamiz } \frac{3}{4}'' = 0 + 103.5 = 103.5 \text{ g}$$

$$\text{Tamiz } \frac{1}{2}'' = 103.5 + 2375.5 = 2479 \text{ g}$$

$$\text{Tamiz } \frac{3}{8}'' = 2479 + 1629.5 = 4108.5 \text{ g}$$

$$\text{Tamiz } \# 4 = 4108.5 + 801.5 = 4910 \text{ g}$$

$$\text{Tamiz } \# 8 = 4910 + 27 = 4937 \text{ g}$$

$$\text{Fondo} = 4937 + 62 = 4999 \text{ g}$$

Porcentaje Peso Retenido Individual

$$\text{Tamiz } 1\frac{1}{2}'' = \frac{0}{4999} \times 100 = 0\%$$

$$\text{Tamiz } 1'' = \frac{0}{4999} \times 100 = 0\%$$

$$\text{Tamiz } \frac{3}{4}'' = \frac{103.5}{4999} \times 100 = 2.0\%$$

$$Tamiz\ 1\frac{1}{2}'' = \frac{2375.5}{4999} \times 100 = 47\%$$

$$Tamiz\ 3\frac{3}{8}'' = \frac{1629.5}{4999} \times 100 = 32.3\%$$

$$Tamiz\ #\ 4 = \frac{801.5}{4999} \times 100 = 15.9\%$$

$$Tamiz\ #\ 8 = \frac{27}{4999} \times 100 = 0.5\%$$

$$Fondo = \frac{62}{4999} \times 100 = 1.2\%$$

Porcentaje Peso Retenido Individual Total

$$\Sigma = 0 + 0 + 2.0 + 47 + 32.3 + 15.9 + 0.5 + 1.2 = 99\%$$

Porcentaje Peso Retenido Acumulado

$$Tamiz\ 1\frac{1}{2}'' = 0\%$$

$$Tamiz\ 1'' = 0 + 0 = 0\%$$

$$Tamiz\ 3\frac{3}{4}'' = 0 + 2.0 = 2.0\%$$

$$Tamiz\ 1\frac{1}{2}'' = 2.0 + 47 = 49.1\%$$

$$Tamiz\ 3\frac{3}{8}'' = 49.1 + 32.3 = 81.3\%$$

$$Tamiz\ #\ 4 = 81.3 + 15.9 = 97.2\%$$

$$Tamiz\ #\ 8 = 97.2 + 0.5 = 97.7\%$$

$$Fondo = 97.7 + 1.2 = 99\%$$

Porcentaje Pasado

$$Tamiz\ 1\frac{1}{2}'' = 100 - 0 = 100\% \approx 100\%$$

$$Tamiz\ 1'' = 100 - 0 = 100\% \approx 100\%$$

$$Tamiz\ 3\frac{3}{4}'' = 100 - 2.0 = 98\% \approx 98\%$$

$$Tamiz\ 1\frac{1}{2}'' = 100 - 49.1 = 50.9\% \approx 51\%$$

$$Tamiz\ 3\frac{3}{8}'' = 100 - 81.3 = 18.7\% \approx 19\%$$

$$Tamiz\ #\ 4 = 100 - 97.2 = 2.8\% \approx 3\%$$

$$Tamiz\ #\ 8 = 100 - 97.7 = 2.3\% \approx 2\%$$

$$Fondo = 100 - 99 = 1\%$$

Tamaño Máximo Árido (TMA)

$$\text{Tamiz } 1'' = 100 - 0 = 100\%$$

Posterior a los cálculos respectivos del análisis granulométrico de la grava, se estableció el tamaño máximo del árido (TMA) acorde a los resultados obtenidos. En este caso, el tamaño máximo corresponde al de 1", puesto que es el último tamiz por el cual pasa el 100% de la muestra.

Tamaño Máximo Árido Nominal (TMAN)

$$\text{Tamiz } \frac{3}{4}'' = 100 - 2.0 = 98\%$$

De igual forma, se determinó el tamaño máximo del árido nominal, el cual corresponde al tamiz donde se retiene entre el 5% - 15% del agregado. En este caso, el tamaño que cumple con dicho requerimiento es el de $\frac{3}{4}$ ".

Porcentaje de Error

$$\% \varepsilon = \frac{5051.50 - 4999}{5051.50} \times 100 = 1.03\%$$

$$0.2\% < 1.03\% < 1\% \rightarrow \text{No Cumple}$$

Mediante el peso inicial y final de la grava se calculó el porcentaje de error, mediante la **Ecuación 8**, obteniendo como resultado 1.03%, lo cual no cumple con lo requerido. Sin embargo, al ser un porcentaje mínimo pasado y que dicho material cumple con el resto de los parámetros requeridos de los demás ensayos, se considera su aplicación en la mezcla.

En la siguiente tabla se detalla el análisis granulométrico efectuado a la grava según la normativa ASTM C136.

Tabla 14. Análisis Granulométrico de la Grava.

Agregado	Tamiz	Equivalente Tamiz (mm)	Peso Retenido Individual	Peso Retenido Acumulado	% Peso Retenido Individual	% Peso Retenido Acumulado	% Pasado
Grava	2"	50	0	0	0	0	100
	1 1/2 "	38.1	0	0	0	0	100
	1"	25.4	0	0	0	0	100
	3/4"	19.05	103.5	103.5	2.0	2.0	98
	1/2"	12.7	2375.5	2479	47	49.1	50.9
	3/8"	9.51	1629.5	4108.5	32.3	81.3	18.7
	# 4	4.76	801.5	4910	15.9	97.2	2.8
	# 8	2.38	27	4937	0.5	97.7	2.3
	#16	1.19	0	4937	0	97.7	2.3
	#30	0.595	0	4937	0	97.7	2.3
	#50	0.297	0	4937	0	97.7	2.3
	#100	0.149	0	4937	0	97.7	2.3
	#200	0.074	0	4937	0	97.7	2.3
	Fondo		62	4999	1.2	99.0	1.0
	Σ		4999		99.0	718.3	

Fuente: (Propia, 2024).

En la **Tabla 14** se visualiza el peso retenido individual de cada tamiz obtenido a partir del proceso de tamizado, el peso retenido acumulado, porcentaje de peso retenido individual, retenido acumulado y porcentaje pasado de la arena mediante la **Ecuación 4**, **Ecuación 5**, **Ecuación 6**, **Ecuación 7**, establecidas en el Capítulo III.

A continuación, la **Ilustración 31** presenta la curva granulométrica de la grava, efectuando una comparativa entre los porcentajes pasados de cada tamiz obtenidos en el ensayo; el porcentaje pasado mínimo y máximo para dicho agregado establecidos según la normativa ASTM C136, especificada en la **Tabla 12**.

Tabla 15. Porcentaje pasado mínimo y máximo de la Grava.

Tamiz	Abertura	% Pasado	% Pasado mínimo	% Pasado máximo
1"	25.4	100	100	100
3/4"	19.05	98	90	100
3/8"	9.51	18.7	20	55
#4	4.76	2.8	0	10
#8	2.38	2.3	0	5

Fuente: (Propia, 2024).

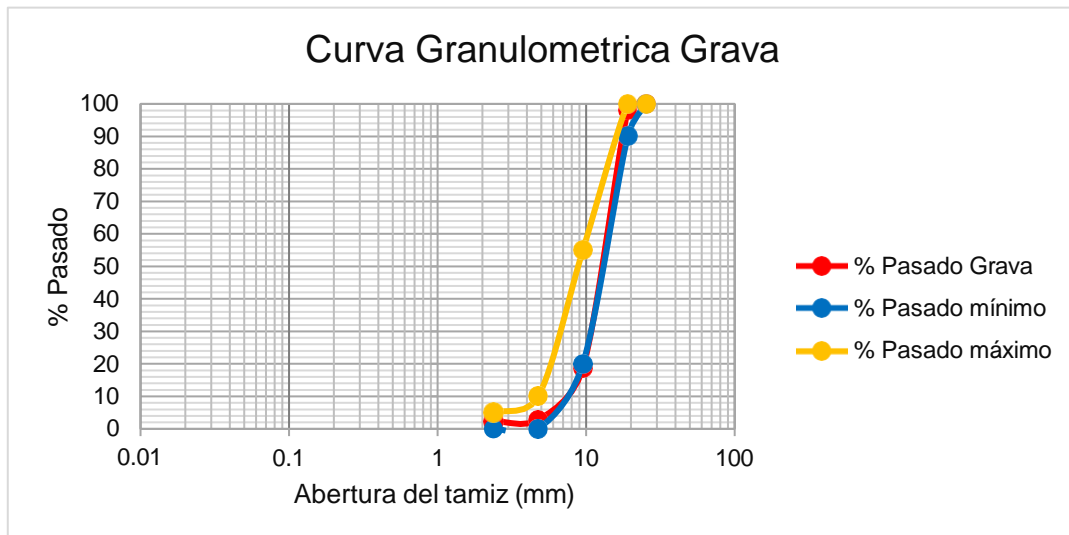


Ilustración 31. Curva Granulométrica de la Grava.

Fuente: (Propia, 2024).

5.2.3 PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN

5.2.3.1 ENSAYO DE PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN DEL AGREGADO GRUESO (ASTM C127)

En el siguiente apartado, se detallan los cálculos realizados de gravedad específica y absorción del agregado grueso según lo especificado en la normativa ASTM C127.

Para efectuar los respectivos cálculos, se determinaron previamente el peso seco final, peso en condición saturada con superficie seca (SSD) y peso sumergido de la muestra. Dichos datos son necesarios para obtener la gravedad específica y porcentaje de absorción de la grava. A continuación, se especifican los valores obtenidos en el ensayo:

$$A = 2415 \text{ g}$$

$$B = 2454.94 \text{ g}$$

$$C = 1532.9 \text{ g}$$

Mediante la **Ecuación 10** se calculó la gravedad específica bulk seca:

$$\frac{2415}{2454.94 - 1532.9} = 2.619$$

Para calcular la gravedad específica bulk SSD, se empleó la **Ecuación 11**:

$$\frac{2454.94}{2454.94 - 1532.9} = 2.663$$

Por último, para obtener la gravedad específica bulk aparente, se hace uso de la **Ecuación 12**:

$$\frac{2415}{2415 - 1532.9} = 2.738$$

Para obtener el porcentaje de absorción de la grava se utilizó la **Ecuación 13**:

$$\frac{2454.94 - 2415}{2415} \times 100 = 1.65\%$$

Así mismo, se puede determinar el porcentaje de agua libre, para ello, se empleó la **Ecuación 14**, donde se consideró el porcentaje de humedad obtenido previamente en el ensayo de peso volumétrico, según norma ASTM C29, y el porcentaje de absorción.

$$1.72\% - 1.65\% = 0.07\%$$

5.2.3.2 ENSAYO DE PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN DEL AGREGADO FINO (ASTM C128)

A continuación, se detallan los cálculos realizados de gravedad específica y absorción del agregado fino según lo especificado en la normativa ASTM C128.

En el caso de la arena, para realizar los respectivos cálculos, se determinaron previamente el peso seco final, peso matraz + agua destilada, peso matraz + agua destilada + arena y peso en condición saturada con superficie seca (SSD). Dichos datos son necesarios para obtener la gravedad específica y porcentaje de absorción de la arena. Se enlistan los valores obtenidos en el ensayo:

$$A = 492 \text{ g}$$

$$B = 1442.5 \text{ g}$$

$$C = 1751.5 \text{ g}$$

$$D = 500 \text{ g}$$

Mediante la **Ecuación 15** se calculó la gravedad específica bulk seca:

$$\frac{492}{1442.5 + 500 - 1751.5} = 2.58$$

Para calcular la gravedad específica bulk SSD, se empleó la **Ecuación 16**:

$$\frac{500}{1442.5 + 500 - 1751.5} = 2.62$$

Por último, para obtener la gravedad específica bulk aparente, se hace uso de la **Ecuación 17**:

$$\frac{492}{1442.5 + 492 - 1751.5} = 2.69$$

Para obtener el porcentaje de absorción de la grava se utilizó la **Ecuación 18**:

$$\frac{500 - 487}{487} \times 100 = 2.67\%$$

De igual forma, se puede determinar el porcentaje de agua libre, para ello, se proporciona la **Ecuación 19**, en el cual se considera el porcentaje de humedad obtenido previamente en el ensayo de peso volumétrico, según norma ASTM C29, y el porcentaje de absorción.

$$5.41\% - 1.63\% = 3.78\%$$

5.2.4 COLORIMETRÍA

5.2.4.1 NORMA ASTM C40. MÉTODO DE ENSAYO ESTÁNDAR PARA IMPUREZAS ORGÁNICAS EN ÁRIDOS FINOS PARA EL HORMIGÓN.



Ilustración 32. Colorimetría de la Arena.

Fuente: (Propia, 2024).

Como se observa en la **Ilustración 31**, se puede inferir, mediante la **Tabla 4**, que la arena a utilizar para el diseño de la mezcla de concreto se encuentra en la categoría #1, por ende, no afectará para obtener un concreto con alta resistencia.

5.3 DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO

5.3.1 DOSIFICACIÓN

5.3.1.1 NORMA ACI 211.1-91 PRÁCTICA ESTÁNDAR PARA LA SELECCIÓN DE PROPORCIONES PARA CONCRETO NORMAL, PESADO Y EN MASA.

A continuación, se presenta los cálculos correspondientes a la dosificación para el diseño de mezcla de concreto con adición de fibra de pseudotallo de banano. Para ello, se consideró el método de dosificación por peso, establecido en la normativa ACI 211.1-91 para evaluar las cantidades de los componentes del concreto y fibra a emplear para el diseño.

Seguidamente se enlistan los datos requeridos para el cálculo de dosificación por peso en el concreto:

Para el diseño de la mezcla de concreto se consideraron los siguientes $f'c$ de diseño y sobre diseño:

$$f'c = 4000 \text{ psi}$$

$$\gamma = 500 \text{ psi}$$

Con respecto al revenimiento y tipo de cemento, se consideraron un revenimiento de 4" y Cemento Portland Tipo I.

$$rev = 4''$$

Tipo de Cemento = Cemento Tipo I

Así mismo, se consideraron diversos valores obtenidos en los ensayos relacionados al análisis de los agregados, tal es el caso del peso volumétrico seco compactado de la grava, del ensayo correspondiente a la norma ASTM C29, tamaño máximo árido nominal de la grava y módulo de finura de la arena, correspondiente a la norma ASTM C136, así como la gravedad específica bulk seca de la grava y arena, correspondiente a la norma ASTM C127 y C128, respectivamente. Con respecto al cemento, se estableció una gravedad específica de 3.15

$$PV_g = 99.39 \text{ lb/ft}^3$$

$$G_{sg} = 2.62$$

$$G_{ss} = 2.58$$

$$G_{sc} = 3.15$$

$$TMAN = 3/4''$$

$$MF = 2.75$$

Se procedió a calcular la resistencia a la compresión de diseño, para ello, se utilizó la

Ecuación 20:

Resistencia a la compresión de diseño

$$f'cd = 4000 + 500$$

$$f'cd = 4500 \text{ psi}$$

Mediante la Tabla ##, el valor de la relación agua/cemento con una resistencia compresiva de 4500 psi, considerando un concreto sin aire incluido es:

Relación agua/cemento

$$\frac{a}{c} = 0.38$$

Seguidamente, mediante la **Ilustración 14**, a través del tamaño máximo de árido nominal y revenimiento, se establecieron el peso del agua y porcentaje de aire:

Peso del Agua

$$rev = 4'' , \quad TMAN = 3/4''$$

$$\omega_w = 340 \text{ lb/yd}^3$$

Porcentaje de aire

$$TMAN = 3/4''$$

$$\%Aire = 2.0\%$$

Como siguiente paso, para el cálculo del volumen de la grava, se tomó en cuenta la **Ilustración 15**, donde mediante el valor de módulo de finura y tamaño máximo de árido nominal, se realizó una interpolación, como se muestra a continuación:

Volumen de la grava

$$MF = 2.93, \quad TMAN = 1\ 1/2''$$

MF	Vg'
2.60	0.64
2.75	Vg'
2.80	0.62

$$Vg' = 0.62 + \frac{0.62 - 0.64}{2.80 - 2.60}(2.75 - 2.60)$$

$$Vg' = 0.625 \text{ yd}^3/\text{yd}^3$$

A partir de la **Ecuación 21**, se calculó el peso de cemento tomando en cuenta el peso del agua y relación agua/cemento obtenido previamente.

Peso del Cemento

$$\omega_c = \frac{340}{0.38}$$

$$\omega_c = 894.74 \text{ lb/yd}^3$$

A partir del volumen de grava obtenido mediante la interpolación y peso volumétrico seco compactado de la grava, se calculó el peso de la grava empleando la **Ecuación 22**:

Peso de la Grava

$$Vg' = 0.625(27\text{pie}^3)$$

$$Vg' = 16.88 \text{ pie}^3/\text{yd}^3$$

$$\omega_g = 16.88 \times 99.39$$

$$\omega_g = 1677.19 \text{ lb/yd}^3$$

Como siguiente paso se calculó el volumen de agua, para ello, se utilizó la **Ecuación 23**, donde se consideran el peso del agua y peso específico del agua.

Volumen del Agua

$$Vw = \frac{340}{62.4}$$

$$Vw = 5.45 \text{ pie}^3/\text{yd}^3$$

En cuanto al volumen del cemento, se empleó la **Ecuación 24**, el cual se empleó el peso del cemento obtenido mediante la **Ecuación 21**, peso específico del cemento y agua.

Volumen del Cemento

$$Vc = \frac{894.74}{3.15 \times 62.4}$$

$$Vc = 4.55 \text{ pie}^3/\text{yd}^3$$

Para el cálculo del volumen de la grava, se utilizó la **Ecuación 25**.

Volumen de la Grava

$$Vg = \frac{1677.19}{2.62 \times 62.4}$$

$$Vg = 10.26 \text{ pie}^3/\text{yd}^3$$

También, se consideró el volumen del aire, en este caso, se empleó la **Ecuación 26**, donde se utilizó el porcentaje de aire obtenido en los primeros pasos y la cantidad de pie cubico que existe en una yarda.

Volumen del Aire

$$Va = 2.0 (27\text{pie}^3)/\text{yd}^3$$

$$Va = 0.54 \text{ pie}^3/\text{yd}^3$$

Con respecto al cálculo del volumen de la arena, se utilizó la **Ecuación 27**, el cual se efectúa una resta del volumen en pie cubico que existe en una yarda con respecto al volumen del agua, cemento, grava y aire

Volumen de la Arena

$$\frac{27 \text{ pie}^3}{\text{yd}^3} = Vw + Vc + Vg + Va + Vs$$

$$Vs = 27 - 5.45 - 4.55 - 10.26 - 0.54$$

$$Vs = 6.20 \text{ pie}^3/\text{yd}^3$$

Para el cálculo del peso de la arena, se empleó la **Ecuación 28**.

Peso de la Arena

$$\omega_s = 6.20 \times 2.58 \times 62.4$$

$$\omega_s = 998.24 \text{ lb}/\text{yd}^3$$

Por último, una vez obtenido los pesos de los diferentes componentes del concreto, se procedió a calcular el peso total mediante la **Ecuación 29**.

Peso total

$$\omega_w = 340$$

$$\omega_c = 894.74$$

$$\omega_g = 1677.19$$

$$\omega_s = 998.24$$

$$\omega_T = 3910.16 \text{ lb/yd}^3$$

Continuando con el cálculo de dosificación, a continuación, se presenta el cálculo de la dosificación por volumen correspondientes al cemento, arena y grava utilizando la **Ecuación 30**.

Dosificación x Volumen

$$\frac{4.55}{4.55} : \frac{6.20}{4.55} : \frac{10.26}{4.55}$$

$$1 : 1.36 : 2.25$$

Puesto que el proyecto consiste en elaborar 36 muestras de cilindros y vigas, se calcularon el volumen de los respectivos moldes de cilindro y vigas.

Cilindro

$$Vol = \frac{\pi D^2}{2} \times h$$

$$Vol = \frac{\pi * (4)^2}{2} \times 8$$

$$Vol = 201.06 \text{ pulg}^3 \approx 0.12 \text{ pie}^3$$

Viga

$$Vol = b * h * L$$

$$Vol = 6 * 6 * 24$$

$$Vol = 864 \text{ pulg}^3 \approx 0.50 \text{ pie}^3$$

Para conocer el volumen total a requerir, los volúmenes obtenidos de los moldes de cilindro y viga se multiplicaron por 9, ya que son 3 especímenes de concreto por evaluar a los 7, 14 y 28 días.

Volumen total

$$Vol\ cilindro = 0.39 * 6 = 0.70\ pie^3$$

$$Vol\ viga = 0.50 * 3 = 1.5\ pie^3$$

$$Vol = 0.70 + 1.5 = 2.20\ pie^3$$

Seguidamente, para determinar la cantidad, en peso, de mezcla de concreto a dosificar para la elaboración de las 36 muestras de cilindros y vigas, se consideraron el volumen total y la densidad del concreto.

$$P = 2.20 * 150 = 329.72\ lb$$

Dosificar 332 lb

A continuación, a partir del peso total a dosificar para el diseño de la mezcla de concreto, se procedió a calcular la cantidad de agua, cemento, grava y arena requerida para dicho peso, mediante la **Ecuación 31**, **Ecuación 32**, **Ecuación 33** y **Ecuación 34**, respectivamente.

Peso del Agua

$$\frac{340}{3910.16} = \frac{W_w}{332}$$

$$0.0869 = \frac{W_w}{332}$$

$$W_w = 0.0869(332)$$

$$W_w = 28.87\ lb$$

Peso del Cemento

$$\frac{894.74}{3910.16} = \frac{W_c}{332}$$

$$0.2288 = \frac{W_c}{332}$$

$$W_c = 0.2288(332)$$

$$W_c = 75.97\ lb$$

Peso de la Grava

$$\frac{1677.19}{3910.16} = \frac{W_g}{332}$$

$$0.4289 = \frac{W_w}{332}$$

$$W_g = 0.4289(332)$$

$$W_g = 142.40 \text{ lb}$$

Peso de la Arena

$$\frac{998.24}{3910.16} = \frac{W_s}{332}$$

$$0.2552 = \frac{W_s}{332}$$

$$W_s = 0.2552(332)$$

$$W_s = 84.76 \text{ lb}$$

Como siguiente paso, se calculó el peso total de cada uno de los componentes del concreto, mediante la **Ecuación 35**, con el fin de verificar el peso de concreto a dosificar. Se consideró elevar el peso a dosificar por los desperdicios que provoca la elaboración de las muestras.

Peso total

$$W_w = 28.87 \text{ lb}$$

$$W_c = 75.97 \text{ lb}$$

$$W_g = 142.40 \text{ lb}$$

$$W_s = 84.76 \text{ lb}$$

$$W_T = 28.87 + 75.97 + 142.40 + 84.76 = 332 \text{ lb}$$

Seguidamente, se procedió a calcular la cantidad de agua, en litros, a considerar para el diseño de la mezcla de concreto, para ello, se utilizó la **Ecuación 36**, donde se contemplan el peso del agua, porcentaje de agua libre de la grava y arena, previamente obtenidos en el ensayo de la normativa ASTM C127 y C128.

Corrección de agua

$$Ww_{correg} = Ww - \%AL Wg - \%AL Ws$$

$$Ww_{correg} = 28.87 - (0.43) - (3.78)$$

$$Ww_{correg} = 25.05 \text{ lb}$$

$$Ww_{correg} = 25.05 \text{ lb} * \left(\frac{0.453592 \text{ lts}}{1 \text{ lb}} \right) = 11.36 \text{ lts} \approx 12 \text{ lts}$$

La siguiente tabla muestra el cuadro resumen de la dosificación final de la mezcla de concreto:

Tabla 16. Dosificación final de la mezcla de concreto.

Mezcla de concreto	Arena (lb)	Grava (lb)	Cemento (lb)	Agua (lts)	Fibra (lb)
Control	84.76	142.40	75.97	12	0
1 % fibra	83.91	142.40	75.97	12	0.85
1.5 % fibra	83.49	142.40	75.97	12	1.27
2 % fibra	83.06	142.40	75.97	12	1.70

Fuente: (Propia, 2024).

Como se observa en la **Tabla 16**, se detallan la cantidad de arena, grava, cemento, agua a requerir para la elaboración de los especímenes de concreto, donde se consideraron los diferentes porcentajes de fibra de pseudotallo de banano, en sustitución de la arena, para determinar la cantidad de fibra a emplear por cada porcentaje aplicado.

5.3.2 REVENIMIENTO Y CONTENIDO DE AIRE

Tabla 17. Revenimiento y Contenido de Aire de las muestras de concreto.

Mezclas de concreto	Revenimiento	Contenido de aire
Control	4.5"	1.5%
1% fibra	4"	1.6%
1.5% fibra	3"	2.0%
2% fibra	3"	1.6%

Fuente: (Propia, 2024).

En la **Tabla 17** se presentan los resultados obtenidos de las pruebas de revenimiento y contenido de aire en las diferentes mezclas de concreto. Para la mezcla de control se obtuvo un revenimiento de 4.5 pulgadas y contenido de aire del 1.5%. Por otro lado, con la incorporación de 1% de fibra, se disminuyó ligeramente el revenimiento a 4 pulgadas, mientras que el contenido de aire aumento a 1.6%. Añadiendo mayor cantidad de fibra, en este caso, a 1.5% de fibra, el revenimiento baja de forma considerable a 3 pulgadas, y el contenido de aire sube a 2.0%, lo cual indica un incremento en la porosidad del concreto. Por último, con un 2.0% de fibra, el revenimiento se mantuvo en 3 pulgadas, aunque, el contenido de aire vuelve a disminuir a 1.6%. A partir de los siguientes resultados, se infiere que a medida que se incrementa el porcentaje de fibra añadida al concreto, el revenimiento tiende a reducirse, lo que provoca una menor trabajabilidad de la mezcla, mientras que, por otra parte, el contenido de aire varia, alcanzando un porcentaje máximo del 2%.

5.4 RESULTADOS DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN Y FLEXIÓN

5.4.1 ANÁLISIS DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN

Tabla 18. Resistencia a la compresión a los 7 días.

Cilindro	Fecha de fundición	Fecha de rotura	Edad (días)	Peso (lb)	Carga total aplicada (lb)	Resistencia (psi)	Promedio (psi)	Resistencia de diseño (psi)	Porcentaje
Control	07/09/2024	14/09/2024	7	8.75	61,440	4889.2	4953.7	4000	123.84%
				8.78	63,060	5018.2			
1% de Fibra	07/09/2024	14/09/2024	7	8.61	39,640	3154.5	3530.1	4000	88.26%
				8.66	49,080	3905.7			
1.5% de Fibra	07/09/2024	14/09/2024	7	8.36	37,820	3009.6	2721.5	4000	68.04%
				8.50	30,580	2433.5			
2% de Fibra	07/09/2024	14/09/2024	7	8.24	37,400	2976.2	2875.5	4000	71.89%
				8.27	34,870	2774.9			

Fuente: (Propia, 2024).

La **Tabla 18** se muestran los resultados de resistencia a la compresión de los cilindros de concreto con los diferentes porcentajes de fibra aplicados, con respecto a la mezcla control. Las muestras fueron fundidos en 07/09/2024 y sometidos a prueba de rotura el 14/09/2024, para obtener los resultados de dichas resistencias a los 7 días. Para la muestra de control se obtuvo una resistencia promedio de 4953.7 psi, soportando una carga total promedio de 62,250 lb, superando en un 23.84% la resistencia de diseño de 4000 psi. Por otro lado, la muestras con adición de fibra, en este caso, con 1% de fibra mostró una resistencia promedio de 3530.1 psi, alcanzando un 88.26% de la resistencia de diseño, con 1.5% de fibra se logró una disminución, con una resistencia promedio de 2721.5 psi, equivalente al 68.04% de la resistencia de diseño, y

con 2% de fibra se consiguió un leve incremento con respecto al 1.5%, con una resistencia promedio de 2875.5 psi y con ello un porcentaje del 71.89% con relación a la resistencia de diseño.

Tabla 19. Resistencia a la compresión a los 14 días.

Cilindro	Fecha de fundición	Fecha de rotura	Edad (días)	Peso (lb)	Carga total aplicada (lb)	Resistencia (psi)	Promedio (psi)	Resistencia de diseño (psi)	Porcentaje
Control	07/09/2024	21/09/2024	14	8.97	75,460	6004.9	5766.6	4000	144.16%
				8.69	69,470	5528.3			
1% de Fibra	07/09/2024	21/09/2024	14	8.63	64,970	5170.2	5132	4000	128.30%
				8.49	64,010	5093.8			
1.5% de Fibra	07/09/2024	21/09/2024	14	8.34	47,370	3769.6	3785.9	4000	94.65%
				8.35	47,780	3802.2			
2% de Fibra	07/09/2024	21/09/2024	14	8.46	40,370	3212.5	3897.3	4000	97.43%
				8.49	57,580	4582.1			

Fuente: (Propia, 2024).

La **Tabla 19** se detallan la resistencia a la compresión obtenidos de las diferentes muestras de concreto convencional y con adición de fibra de banano. Las pruebas de ruptura se realizaron a los 14 días luego de su elaboración y ser fundidos el 07/09/2024. Para el caso de la muestra control, se alcanzó una resistencia promedio de 5766.6 psi, superando de forma considerable la resistencia de diseño de 4000 psi en un 44.16%. Al incorporar 1% de fibra, la resistencia a la compresión promedio fue de 5132 psi, equivalente al 128.30% de la resistencia de diseño. Con adición de 1.5% de fibra, la resistencia disminuyo a 3785.9 psi, significando un valor del 94.65% de la resistencia de diseño. Y, agregando 2% de fibra, se consiguió una resistencia promedio de 3897.3 psi, dando un porcentaje del 97.43% de la resistencia a la compresión de diseño.

Tabla 20. Resistencia a la compresión a los 28 días.

Cilindro	Fecha de fundición	Fecha de rotura	Edad (días)	Peso (lb)	Carga total aplicada (lb)	Resistencia (psi)	Promedio (psi)	Resistencia de diseño (psi)	Porcentaje
Control	07/09/2024	05/10/2024	28	8.72	83,830.0	6986.8	7065.1	4000	176.63%
				8.76	90,010.6	7143.37			
1% de Fibra	07/09/2024	05/10/2024	28	8.55	60,976.4	4839.4	5309.9	4000	132.74%
				8.59	68,593.1	5780.5			
1.5% de Fibra	07/09/2024	05/10/2024	28	8.55	51,287.0	4655.4	4284.4	4000	107.11%
				8.36	47,236.1	3913.4			
2% de Fibra	07/09/2024	05/10/2024	28	8.21	40,222.4	4612.8	4484	4000	112.10%
				8.10	39,014.6	3096.4			

Fuente: (Propia, 2024).

La **Tabla 20** presenta los resultados de resistencia a la compresión de los diferentes especímenes de concreto a los 28 días. Se observa que la muestra control alcanzó mayor resistencia promedio con 7065.1 psi, superando el valor de la resistencia de diseño de 4000 psi en un 176.63%. Por otro lado, las muestras con adición de fibra de pseudotallo de banano, para el caso del 1% de fibra se obtuvo una resistencia promedio de 5309.9 psi, logrando un 132.75% de la resistencia de diseño. Con 1.5% de fibra, la resistencia promedio obtenida fue de 4284.4 psi, correspondiente al 107.11% de la resistencia de diseño y, con 2% de fibra se alcanzó una resistencia promedio de 4484 psi, con un porcentaje del 112.10% de la resistencia de diseño de 4000 psi.

Tabla 21. Resumen de resistencia a la compresión.

Muestras de Cilindros	7 días	14 días	28 días
Control	4953.7 psi	5766.6 psi	7065.1 psi
1% de Fibra	3530.1 psi	5132 psi	5309.9 psi
1.5% de Fibra	2721.5 psi	3785.9 psi	4284.4 psi
2% de Fibra	2875.5 psi	3897.3 psi	4484 psi

Fuente: (Propia, 2024).

La **Tabla 21** se desglosa los resultados de las resistencias a la compresión de las diferentes muestras de concreto, como ser de control y con adición de 1%, 1.5% y 2% de fibra de pseudotallo de banano, a los 7, 14 y 28 días, respectivamente.

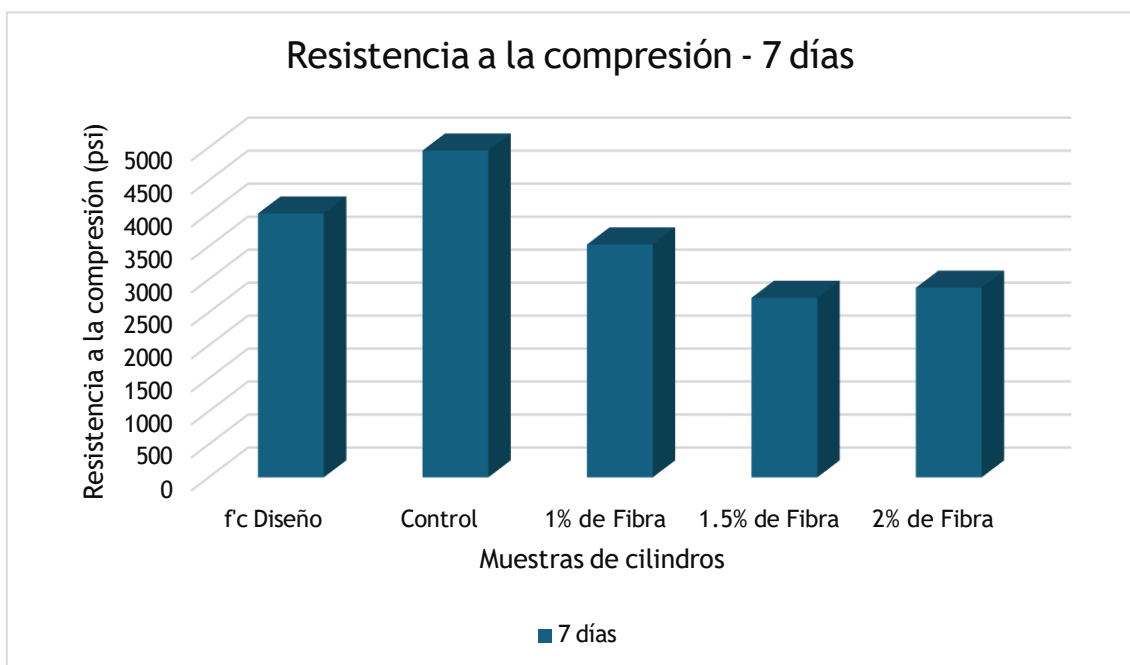


Ilustración 33. Gráfico de resistencia a la compresión a los 7 días.

Fuente: (Propia, 2024).

La **Ilustración 32** presenta un gráfico de barras comparativo de las diferentes resistencias obtenidas de las muestras de concreto a los 7 días. La mezcla de concreto de control contiene mayor resistencia con un valor de 4953.7 psi. Por otra parte, las mezcla con 1% de fibra reduce la resistencia a 3530.1 psi, la de 1.5% muestra una mayor disminución a 2721.5 psi, y la mezcla con 2% de fibra muestra una leve mejoría con una resistencia de 2875.5 psi.

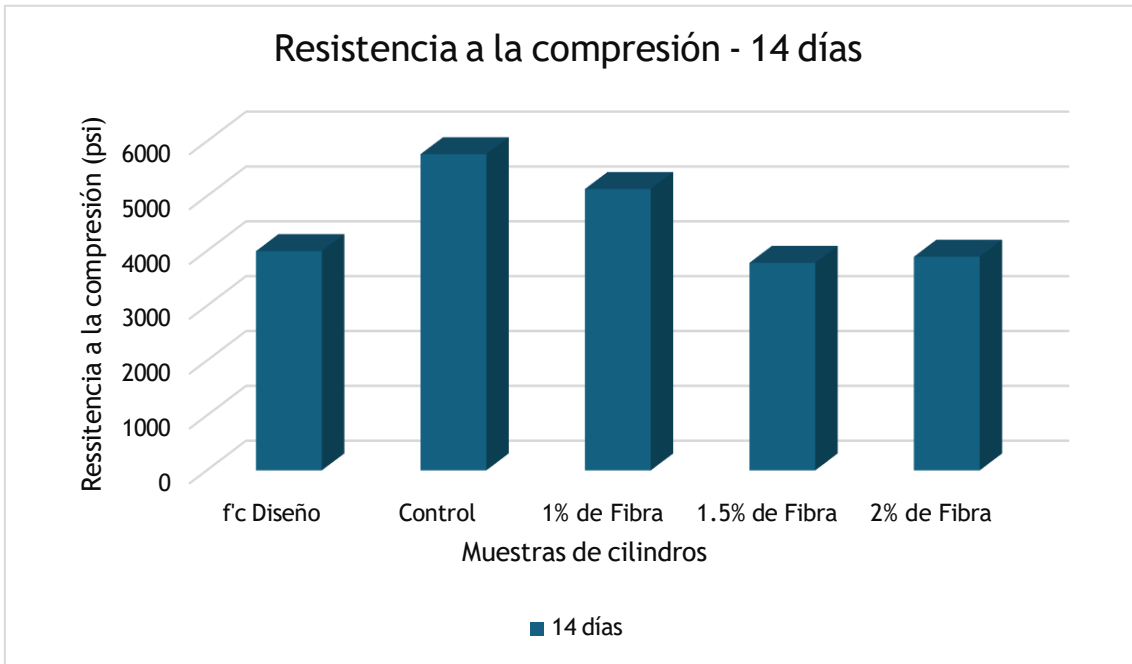


Ilustración 34. Gráfico de resistencia a la compresión a los 14 días.

Fuente: (Propia, 2024).

La **Ilustración 33** muestra el siguiente gráfico de barra que compara las resistencias a la compresión de las distintas muestras de concreto a los 14 días. Como se observa, la muestra de concreto de control presenta mayor resistencia con 5766.6 psi, superando la resistencia de diseño establecida de 4000 psi. Mientras que, en las mezclas con fibra, se observa que la muestra con 1% de fibra alcanzó una resistencia de 5132 psi, mostrando una disminución con respecto al control, pero, superando de igual forma la resistencia de diseño, con 1.5% de fibra tiene una resistencia mucho menor, con 3785.9 psi, y con 2% de fibra se muestra una leve mejoría con una resistencia de 3897.3 psi.

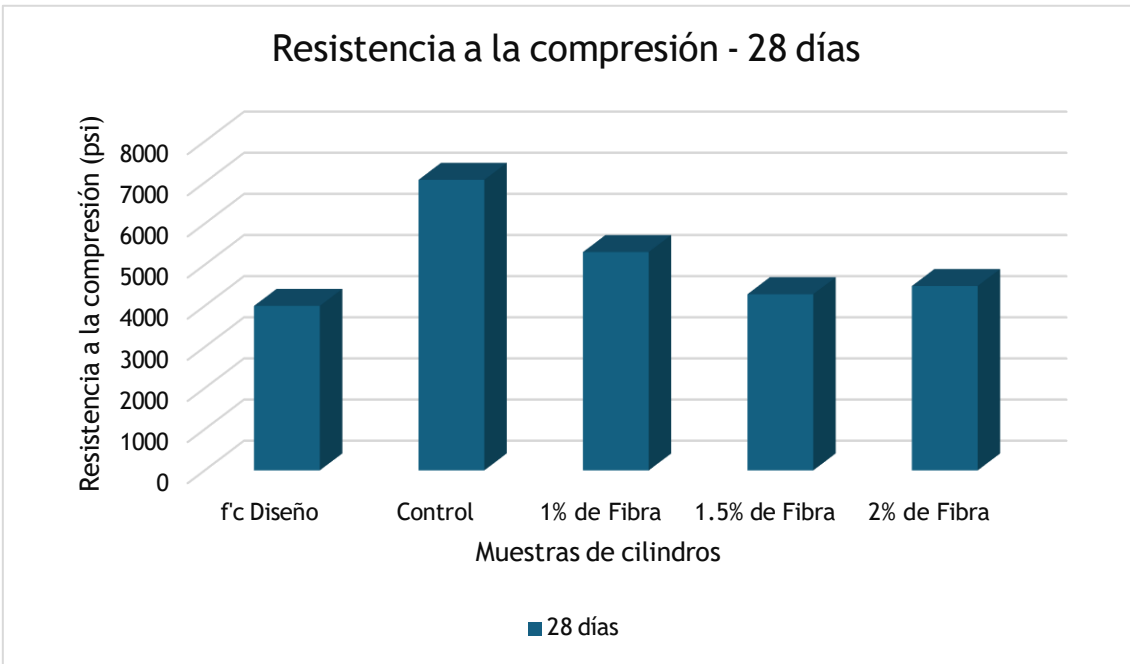


Ilustración 35. Gráfico de resistencia a la compresión a los 28 días.

Fuente: (Propia, 2024).

La **Ilustración 34** se presentan la resistencia a la compresión de los especímenes de concreto a la edad de los 28 días. Se observa que la muestra de control presenta una resistencia de 7065.1 psi, siendo la mayor resistencia. La adición de fibra, como ser de 1%, 1.5% y 2% de fibra, se alcanzaron resistencias de 5309.9 psi, 4284.4 psi y 4484 psi, respectivamente, mostrando disminución con relación a la muestra control.

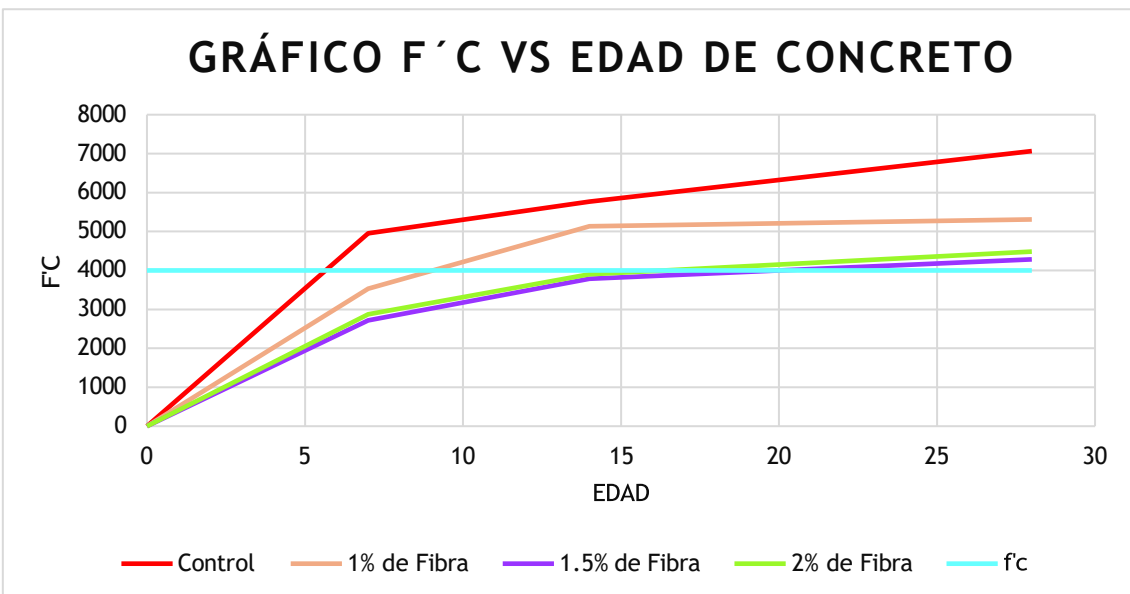


Ilustración 36. Gráfico de f'c vs Edad del concreto.

La **Ilustración 35** muestra un gráfico de relación entre la resistencia a la compresión del concreto en función de la edad del mismo a los 7, 14 y 28 días. Se observa que, a la edad de los 7 días, la muestra control alcanza y supera la resistencia de diseño de 4000 psi, mientras que, las muestras de concreto con adición de fibra en 1%, 1.5% y 2% no logra igualar o superar dicha resistencia. Por otra parte, a los 14 días, se aprecia que, la muestra control consigue una resistencia superior a los 5000 psi y la muestra con 1% de fibra alcanza una resistencia superior a la resistencia de diseño de 4000 psi, a diferencia de las muestras con 1.5% y 2% de fibra que no lograron adquirir la resistencia de diseño. Por último, a los 28 días, se puede ver que la muestra control obtuvo una resistencia alcanzando 7000 psi y la muestra con 1% de fibra una resistencia superior a los 5000 psi y, por otro lado, las muestras con 1.5% y 2% lograron alcanzar resistencias superiores a la resistencia de diseño de 4000 psi.

5.4.1.1 TIPOS DE FRACTURAS

Tabla 22. Tipos de fracturas en cilindros de concreto a los 7 días.

Muestras de cilindros	Peso (lb)	Resistencia (psi)	Tipo de fractura
Control	8.75	4889.2	Tipo 3
	8.78	5018.2	Tipo 3
1% de Fibra	8.61	3154.5	Tipo 2
	8.66	3905.7	Tipo 3
1.5% de Fibra	8.36	3009.6	Tipo 3
	8.50	2433.5	Tipo 3
2% de Fibra	8.24	2976.2	Tipo 3
	8.27	2774.9	Tipo 3

Fuente: (Propia, 2024).

En la **Tabla 22** se puede observar el desglose de los diferentes tipos de fallas que se obtuvieron en las pruebas de rupturas de los especímenes de concreto. Como se aprecia, el tipo de falla obtenido en la mayoría de las muestras de concreto evaluadas de control y con adición de 1%, 1.5% y 2% de fibra son tipo 3, a diferencia de una muestra con 1% de fibra que se obtuvo una falla tipo 2.

Tabla 23. Tipos de fracturas en cilindros de concreto a los 14 días

Muestras de cilindros	Peso (lb)	Resistencia (psi)	Tipo de fractura
Control	8.97	6004.9	Tipo 3
	8.69	5528.3	Tipo 3
1% de Fibra	8.63	5170.2	Tipo 3
	8.49	5093.8	Tipo 3
1.5% de Fibra	8.34	3769.6	Tipo 3
	8.35	3802.2	Tipo 3
2% de Fibra	8.46	3212.5	Tipo 3
	8.49	4582.1	Tipo 3

Fuente: (Propia, 2024).

En la **Tabla 23** se especifican los tipos de fallas que se generaron en las muestras de concreto a la edad de los 14 días. En este caso, para las muestras de concreto de control y con adición de 1%, 1.5% y 2% de fibra se registraron una falla Tipo 3.

Tabla 24. Tipos de fracturas en cilindros de concreto a los 28 días.

Muestras de cilindros	Peso (lb)	Resistencia (psi)	Tipo de fractura
Control	8.72	6671.0	Tipo 3
	8.76	7143.4	Tipo 3
1% de Fibra	8.55	4839.4	Tipo 3
	8.59	5443.9	Tipo 3
1.5% de Fibra	8.55	4070.4	Tipo 3
	8.36	3748.9	Tipo 3
2% de Fibra	8.21	3200.8	Tipo 3
	8.10	3096.4	Tipo 3

Fuente: (Propia, 2024).

En la **Tabla 23** se especifican los tipos de fallas que se generaron en las muestras de concreto a la edad de los 28 días. En este caso, para las muestras de concreto de control y con adición de 1%, 1.5% y 2% de fibra se registraron una falla Tipo 3.

5.4.2 ANÁLISIS DE RESISTENCIA A LA FLEXIÓN

Tabla 25. Resistencia a la flexión a los 7 días.

Viga	Fecha de fundición	Fecha de rotura	Edad (días)	Peso (lb)	Carga total aplicada (lb)	Módulo de rotura (psi)	Módulo de rotura de diseño (psi)	Porcentaje
Control	07/09/2024	14/09/2024	7	65.40	6,800	566.7	600	94.45%
1% de Fibra	07/09/2024	14/09/2024	7	72.63	5,820	485	600	80.84%
1.5% de Fibra	07/09/2024	14/09/2024	7	71.87	6,740	561.7	600	93.62%
2% de Fibra	07/09/2024	14/09/2024	7	69.86	5,730	477.5	600	79.59%

Fuente: (Propia, 2024).

La **Tabla 25** se muestran los resultados de módulos de rotura obtenidos de las diferentes muestras de vigas de concreto de control y con adición de fibra de pseudotallo de banano a los 7 días. Como se observa en la siguiente tabla, la viga de control alcanzó una carga total de 6,800 lb y un módulo de rotura de 566.7 psi. La viga con 1% de fibra resistió una carga total de 5,820 lb, obteniendo un módulo de rotura de 485 psi. Para el caso de la viga con 1.5% de fibra, esta soportó una carga total de 6,740 lb, logrando un módulo de rotura de 561.7 psi, y la viga con 2% de fibra presentó una carga total aplicada de 5,730 lb, con un módulo de rotura de 477.5 psi.

Tabla 26. Resistencia a la flexión a los 14 días.

Viga	Fecha de fundición	Fecha de rotura	Edad (días)	Peso (lb)	Carga total aplicada (lb)	Módulo de rotura (psi)	Módulo de rotura de diseño (psi)	Porcentaje
Control	07/09/2024	21/09/2024	14	65.89	7,570	630.8	600	105.13%
1% de Fibra	07/09/2024	21/09/2024	14	65.20	7,470	622.5	600	103.75%
1.5% de Fibra	07/09/2024	21/09/2024	14	63.13	5,960	496.7	600	82.79%
2% de Fibra	07/09/2024	21/09/2024	14	62.12	6,760	563.3	600	93.89%

Fuente: (Propia, 2024).

En la **Tabla 26** se desglosan los módulos de roturas registrados por cada una de las muestras de concreto a la edad de 14 días. La viga de control presentó la mayor resistencia con un módulo de rotura de 630.8 psi y carga aplicada de 7,570 lb. La viga con 1% de fibra obtuvo un módulo de rotura de 622.5 psi con una carga total de 7,470 lb. La viga con 1.5% de fibra representó una disminución del módulo de rotura con 496.7 psi y una carga total de 5,960 lb, y la viga con 2% de fibra logró alcanzar un módulo de rotura de 563.3 psi aplicando una carga total 6,760 psi.

Tabla 27. Resistencia a la flexión a los 28 días.

Viga	Fecha de fundición	Fecha de rotura	Edad (días)	Peso (lb)	Carga total aplicada (lb)	Módulo de rotura (psi)	Módulo de rotura de diseño (psi)	Porcentaje
Control	07/09/2024	05/10/2024	28	65.62	8,820	735	600	122.5%
1% de Fibra	07/09/2024	05/10/2024	28	70.07	6,830	640.2	600	106.7%
1.5% de Fibra	07/09/2024	05/10/2024	28	63.07	6,640	553.3	600	92.22%
2% de Fibra	07/09/2024	05/10/2024	28	67.60	5,880	485.3	600	101.75%

Fuente: (Propia, 2024).

La **Tabla 27** se especifican los resultados de módulos de rotura obtenidos de las muestras de vigas de concreto de control y muestras con adición de fibra de pseudotallo de banano a los 28 días. Como se observa en la tabla, la viga de control alcanzó una carga total de 8,820 lb y un módulo de rotura de 735 psi. La viga con 1% de fibra resistió una carga total de 6,830 lb, obteniendo un módulo de rotura de 640.2 psi. Para el caso de la viga con 1.5% de fibra, esta soportó una carga total de 6,640 lb, logrando un módulo de rotura de 553.3 psi, y la viga con 2% de fibra presentó una carga total aplicada de 5,880 lb, con un módulo de rotura de 610.5 psi.

Tabla 28. Resumen de resistencia a la flexión.

Muestras de Vigas	7 días	14 días	28 días
Control	566.7 psi	630.8 psi	735 psi
1% de Fibra	485 psi	622.5 psi	640.2 psi
1.5% de Fibra	561.7 psi	496.7 psi	553.3 psi
2% de Fibra	477.5 psi	563.3 psi	485.3 psi

Fuente: (Propia, 2024).

La **Tabla 28** se desglosa los resultados de las resistencias a la flexión de las diferentes muestras de concreto, como ser de control y con adición de 1%, 1.5% y 2% de fibra de pseudotallo de banano, a los 7, 14 y 28 días, respectivamente.

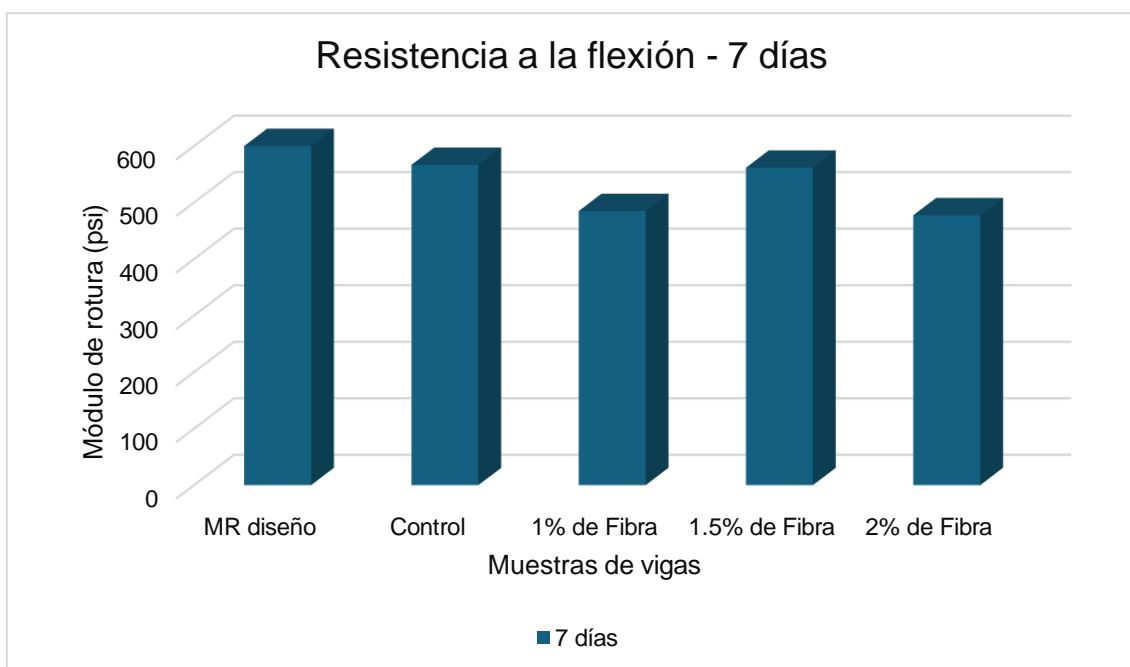


Ilustración 37. Gráfico de resistencia a la flexión a los 7 días.

Fuente: (Propia, 2024).

La **Ilustración 36** muestra un gráfico de barras comparativo de las diferentes resistencias a la flexión obtenidas de las muestras de concreto de control y con adición de los distintos porcentajes de fibra. Se observa que la muestra control obtuvo mayor resistencia a la flexión, seguidamente de la muestra con 1.5% de fibra. Por otra parte, las muestras con 1% y 2% presentaron disminución en su resistencia.

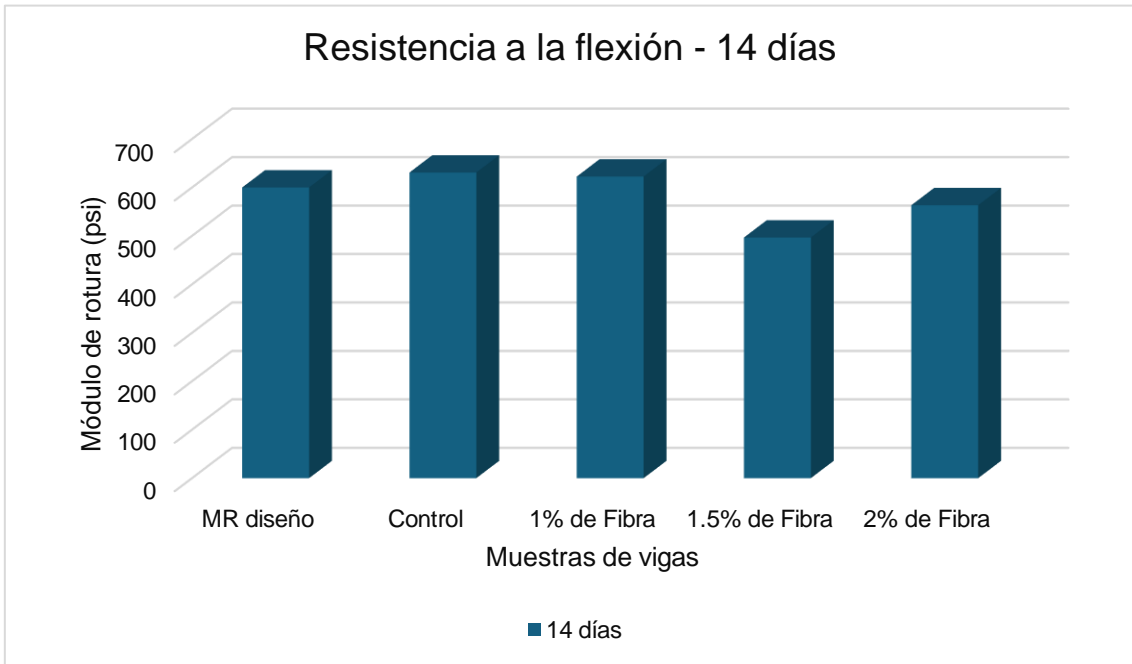


Ilustración 38. Gráfico de resistencia a la flexión a los 14 días.

Fuente: (Propia, 2024).

En la **Ilustración 37** se puede observar el siguiente gráfico de barra comparativo de la resistencia a la flexión de las muestras de concreto a la edad de 14 días. Para este caso, la muestra de control y con 1% de fibra alcanzaron resistencias similares superando los 600 psi. Seguidamente se encuentra la muestra con 2% de fibra con una disminución leve en su resistencia con respecto a las dos muestras anteriores mencionadas, con 563.3 psi, y por último se encuentra la muestra con 1.5% de fibra, la cual presentó una disminución considerable por debajo de los 500 psi.

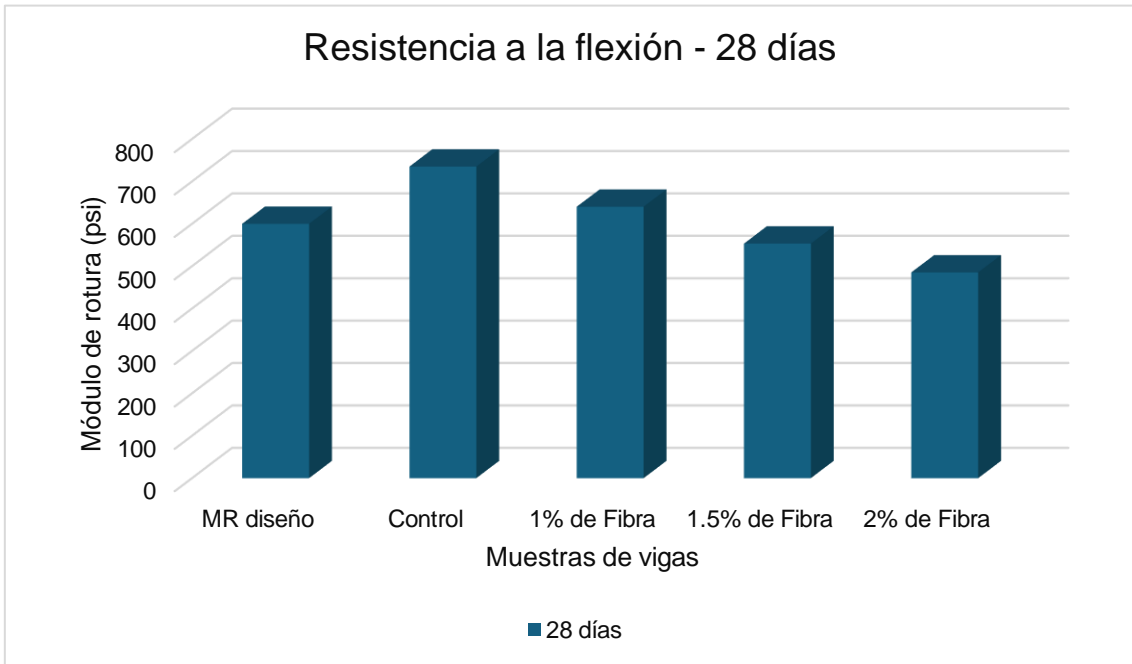


Ilustración 39. Gráfico de resistencia a la flexión a los 28 días.

Fuente: (Propia, 2024).

En la **Ilustración 38** se presenta un gráfico de barras que compara la resistencia a la flexión de las muestras de concreto a los 28 días de edad. En este caso, tanto la muestra de control como la que contiene un 1% de fibra lograron resistencias similares, superando los 600 psi. Seguidamente, se encuentra la muestra con un 2% de fibra, que muestra una ligera disminución en su resistencia en comparación con las dos anteriores, alcanzando 610.5 psi. Finalmente, la muestra con un 1.5% de fibra experimentó una reducción significativa, situándose por debajo de los 500 psi.

5.5 LIMITACIONES

Tamaño de Muestra: El número de especímenes de concreto producidos y analizados puede ser limitado debido a restricciones de tiempo y recursos y disponibilidad de laboratorio. Esto podría afectar la representatividad de los resultados y la capacidad para hacer generalizaciones sobre el comportamiento del concreto con fibra de pseudotallo.

5.6 VALIDACIÓN DE HIPÓTESIS

Para abordar la validación de las hipótesis, primero mostraremos las 2 hipótesis que habíamos formulado. Por medio del proceso de validación mediante la investigación científica, se pudo determinar la veracidad. En base a la evidencia empírica obtenida en laboratorio, se reprodujo el efecto de la adición de fibra de pseudotallo en nuestro diseño de mezcla para un concreto de 4000 psi. Ante todo, para abordar la cuestión, se han formulado 2 hipótesis.

HIPÓTESIS DE INVESTIGACIÓN (H1)

La incorporación de fibra de pseudotallo de banano en el diseño de mezcla de concreto modifica las propiedades mecánicas (compresión y flexión) del concreto convencional, alcanzando resistencias superiores a 4000 psi y 600 psi, respectivamente.

HIPÓTESIS NULA (H0)

La incorporación de fibra de pseudotallo de banano en el diseño de mezcla de concreto no modifica las propiedades mecánicas (compresión y flexión) del concreto convencional, alcanzando resistencias superiores a 4000 psi y 600 psi, respectivamente.

Para verificar si existen diferencias significativas entre las medias de las 4 mezclas, debemos primero verificar la normalidad de los datos. Aunque por concepto las muestras de compresión y de flexión provienen de una medición y como toda variable numérica continua estas deben distribuirse normalmente. Pero el hecho de ser un experimento lo correcto es probar la normalidad de las muestras de mezclas. Se utilizará la prueba de Anderson Darling con un nivel de significancia de 5% del programa de Minitab.

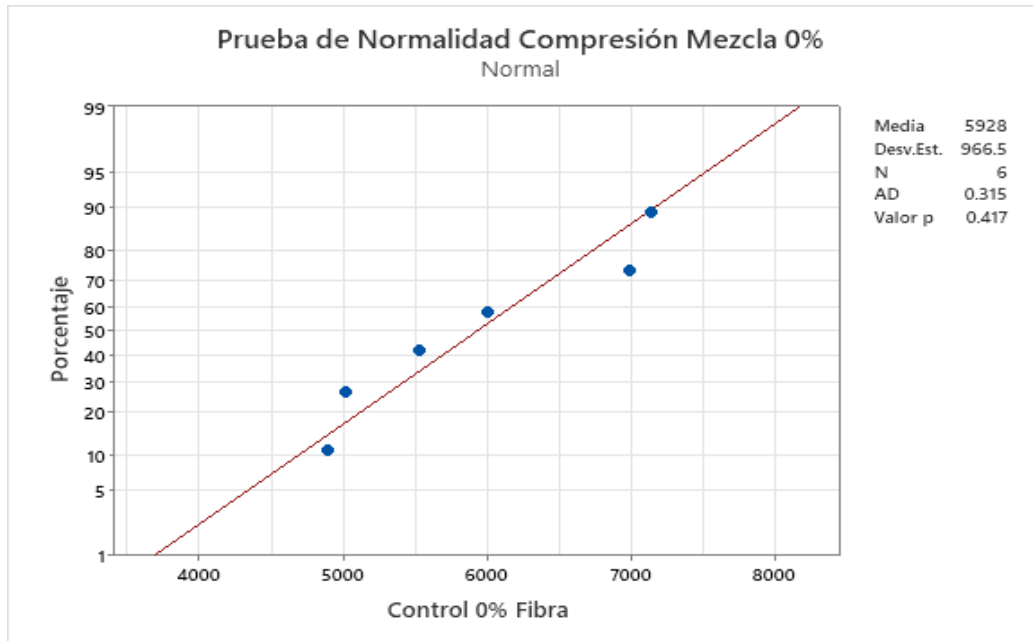


Ilustración 40. Prueba de normalidad a la compresión de mezcla de concreto control.

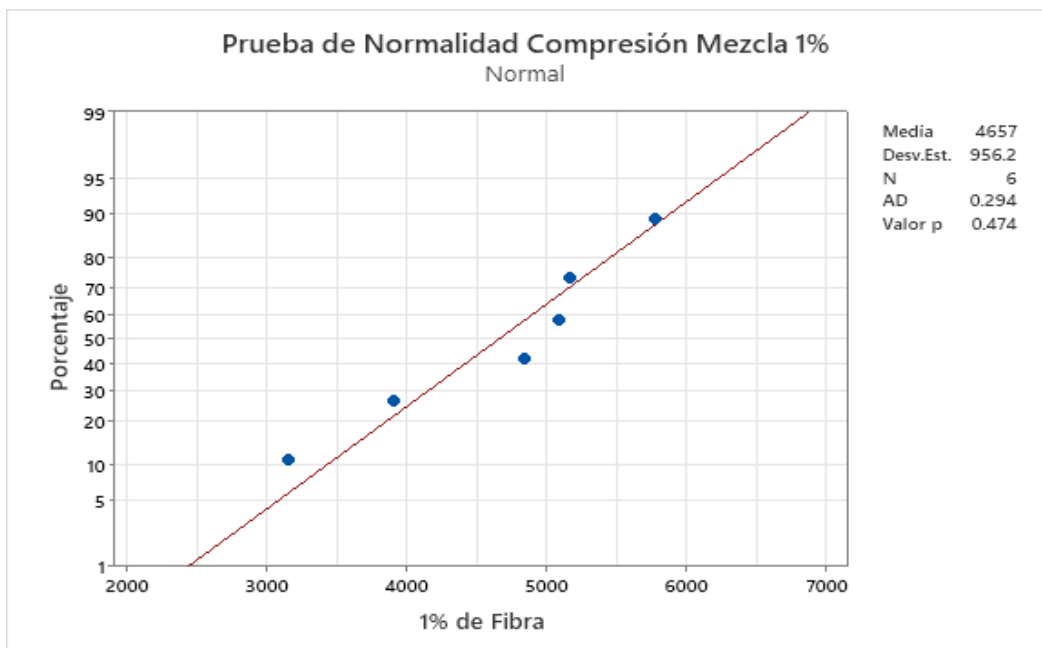


Ilustración 41. Prueba de normalidad a la compresión de mezcla de concreto con 1% de fibra.

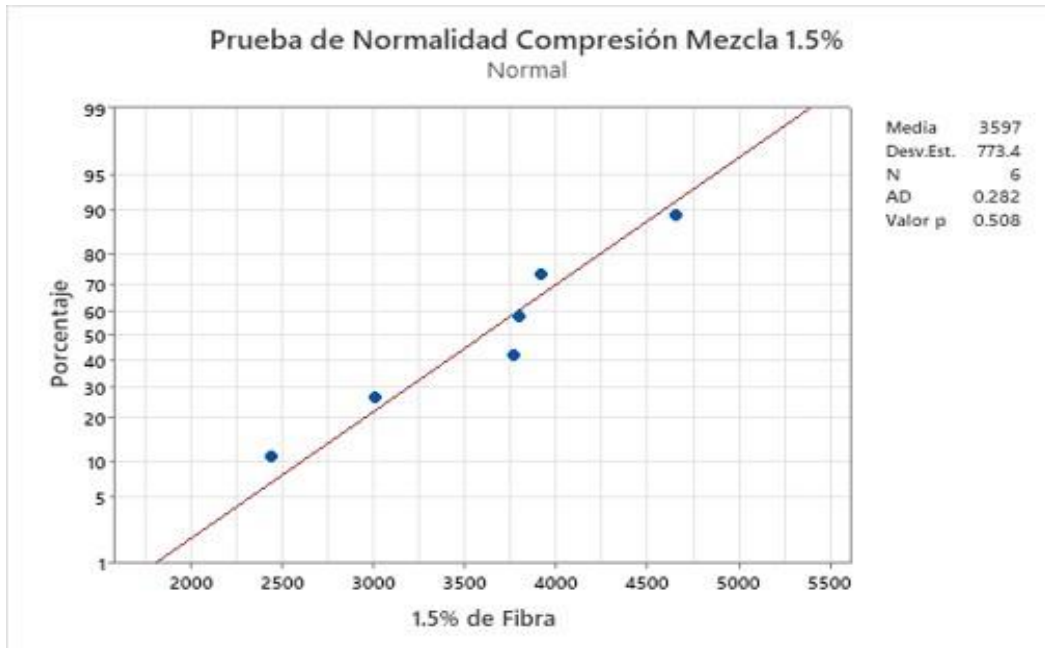


Ilustración 42. Prueba de normalidad a la compresión de mezcla de concreto con 1.5% de fibra.

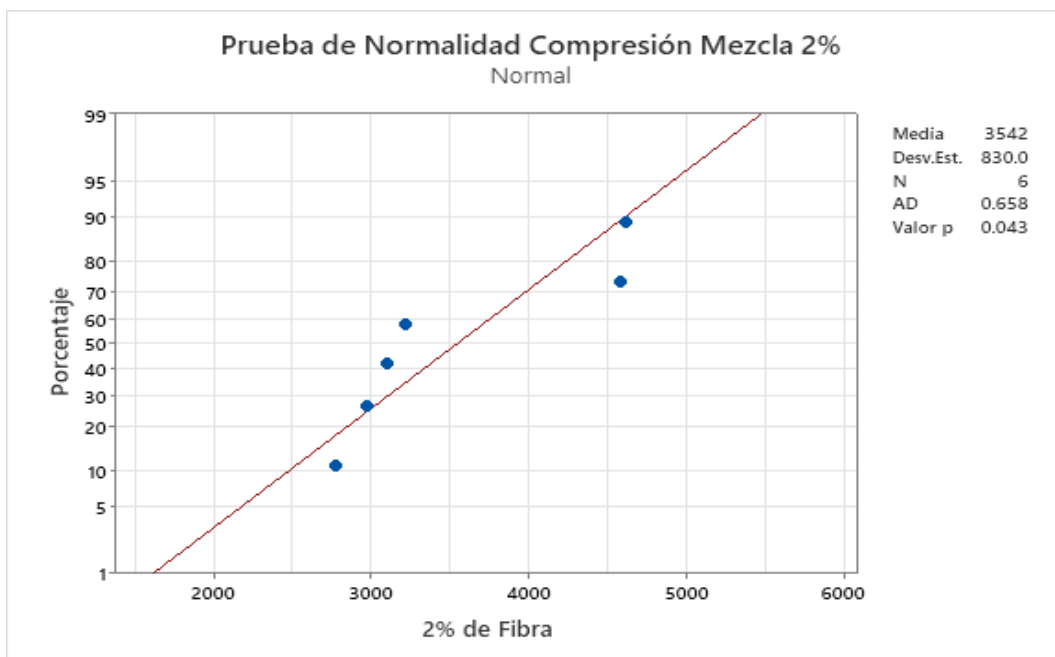


Ilustración 43. Prueba de normalidad de mezcla de concreto con 2% de fibra

Con respecto a la normalidad en las pruebas de compresión, las mezclas 0%, 1% y 1.5% tienen un valor de p de 0.417, 0.474 y 0.508. Los valores están arriba de 0.05 comprobando su normalidad. Solo la mezcla de 2% es menor, por lo tanto, se considera que no se distribuye normalmente. Como la prueba falla en una de las muestras, se

utilizará la prueba no paramétrica de Kruskal Wallis para verificar y comprobar si existen diferencias significativas entre las medianas. Nivel de significancia 0.05.

HOJA DE TRABAJO 1

Prueba de Kruskal-Wallis: Resistencia a la compresión vs. Mezclas

Estadísticas descriptivas

Mezclas	N	Mediana	Clasificación de medias	Valor Z
1.5% de Fibra	6	3785.90	7.8	-1.87
1% de Fibra	6	4966.60	14.8	0.93
2% de Fibra	6	3154.45	7.0	-2.20
Control 0% Fibra	6	5766.60	20.3	3.13
General	24		12.5	

Prueba

Hipótesis nula H_0 : Todas las medianas son iguales
 Hipótesis alterna H_1 : Al menos una mediana es diferente

GL	Valor H	Valor p
3	14.26	0.003

Ilustración 44. Prueba de hipótesis de resistencia a la compresión.

Con respecto a la prueba de hipótesis se rechaza H_0 donde al menos una mediana es diferente. Sin embargo, todas las mezclas tienen medianas diferentes. El valor de p (0.003) es menor al nivel de significancia (0.05). Sobresale el hecho que solo la mezcla de 1% es mayor a 4000 PSI junto con la muestra de control 0%. Se recomienda hacer más pruebas con la mezcla de 1% para verificar si se mantiene la resistencia a la compresión encontrada.

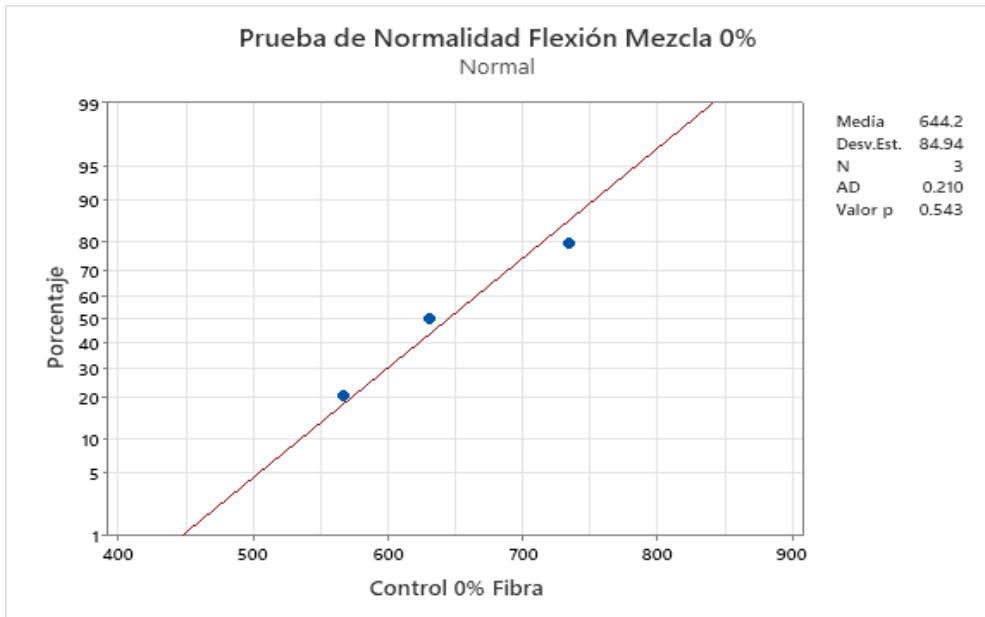


Ilustración 45. Prueba de normalidad a la flexión de mezcla de concreto

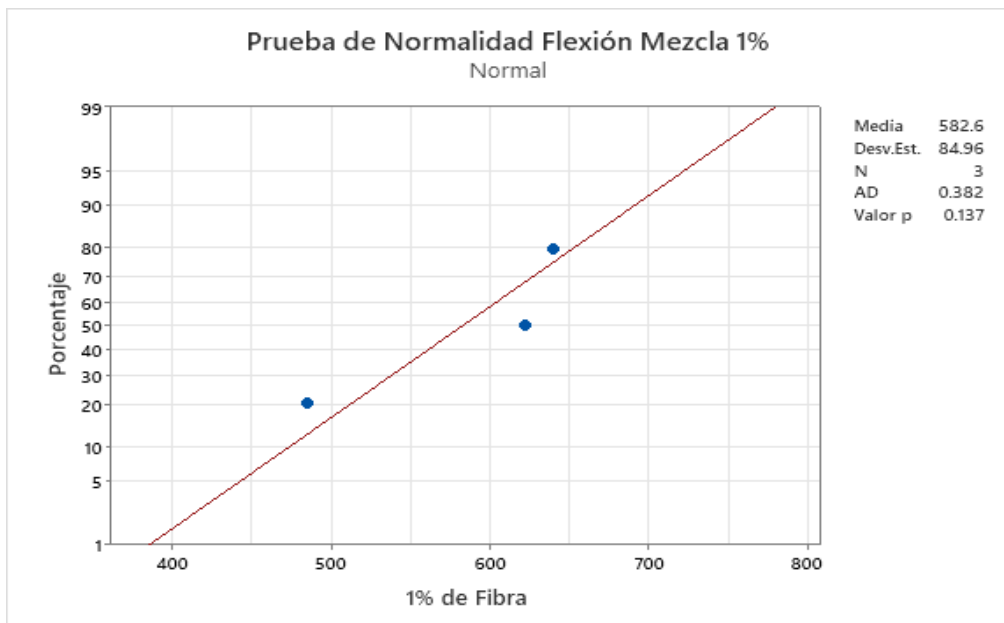


Ilustración 46. Prueba de normalidad a la flexión de mezcla de concreto con 1% de fibra.

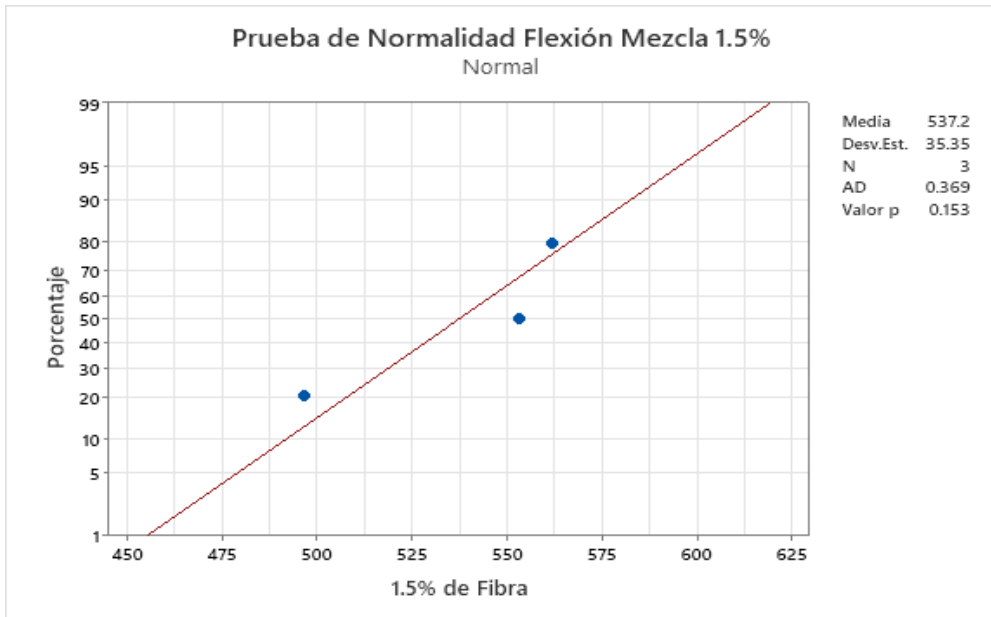


Ilustración 47. Prueba de normalidad a la flexión de mezcla de concreto con 1.5% de fibra.

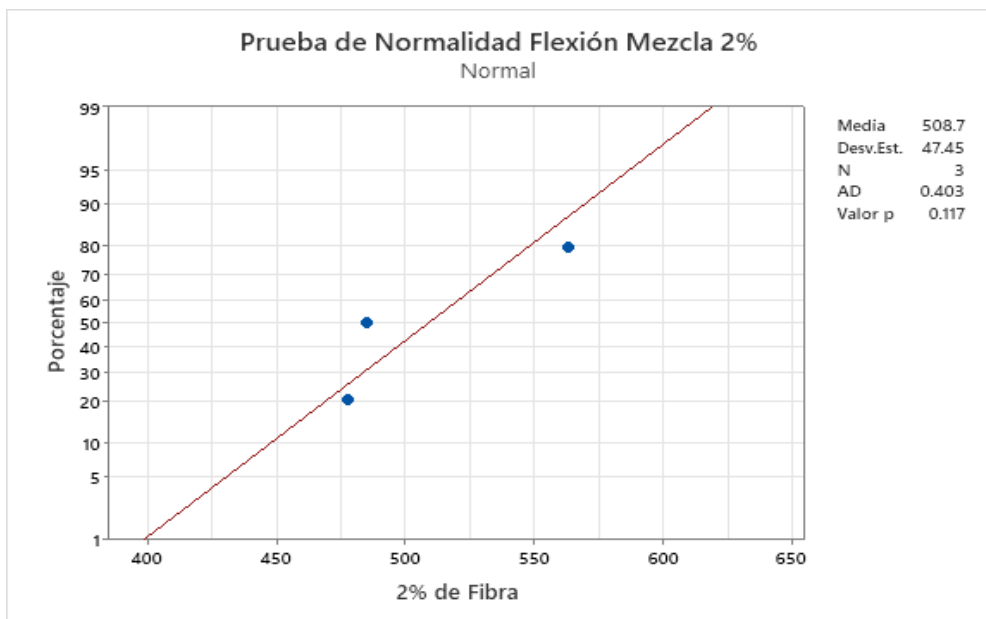


Ilustración 48. Prueba de normalidad a la flexión de mezcla de concreto con 2% de fibra.

Con respecto a la normalidad en las pruebas de flexión, las mezclas 0%, 1%, 1.5% y 2% tienen un valor de p de 0.543, 0.137, 0.153 y 0.117. Todos están arriba de 0.05 comprobando su normalidad. Se utilizará ANOVA de un factor como herramienta estadística para verificar y comprobar si existen diferencias significativas entre las

medias. Para poder utilizar ANOVA se debe comprobar también si las varianzas son iguales o no. Se utilizará la prueba de igualdad de varianzas.

HOJA DE TRABAJO 1

Prueba de igualdad de varianzas: Control 0% Fibra, 1% de Fibra, 1.5% de Fibra, 2% de Fibra

Método

Hipótesis nula Todas las varianzas son iguales
 Hipótesis alterna Por lo menos una varianza es diferente
 Nivel de significancia $\alpha = 0.05$

Se utiliza el método de Bartlett. Este método es exacto sólo para datos normales.

Intervalos de confianza de Bonferroni de 95% para desviaciones estándar

Muestra	N	Desv.Est.	IC
Control 0% Fibra	3	84.9425	(37.7050, 1072.76)
1% de Fibra	3	84.9574	(37.7117, 1072.95)
1.5% de Fibra	3	35.3533	(15.6929, 446.49)
2% de Fibra	3	47.4455	(21.0606, 599.20)

Nivel de confianza individual = 98.75%

Pruebas

Método de prueba	Estadística	Valor p
Bartlett	1.68	0.642

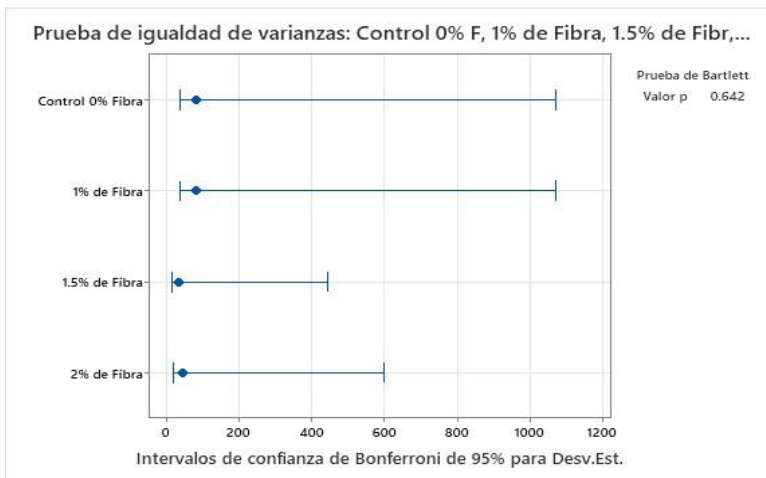


Ilustración 49. Prueba de igualdad de varianza de las mezclas de concreto.

La prueba de igualdad de varianzas nos muestra un valor de p de 0.642 mayor al nivel de significancia 0.05. Por lo tanto, no se rechaza H_0 para la igualdad de varianzas. Se asume que las varianzas son iguales. Se aplicará ANOVA de un factor asumiendo varianzas iguales y utilizando el procedimiento de comparación de Tukey según lo encontrado en el análisis.

ANOVA de un solo factor: Control 0% Fibra, 1% de Fibra, 1.5% de Fibra, 2% de Fibra

Método

Hipótesis nula Todas las medias son iguales
 Hipótesis alterna No todas las medias son iguales
 Nivel de significancia $\alpha = 0.05$
Se presupuso igualdad de varianzas para el análisis.

Información del factor

Factor Niveles Valores
 Factor 4 Control 0% Fibra, 1% de Fibra, 1.5% de Fibra, 2% de Fibra

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC	Ajust.	MC	Ajust.	Valor F	Valor p
Factor	3	31430		10477		2.34	0.150
Error	8	35868		4483			
Total	11	67297					

Resumen del modelo

S	R-cuadrado	R-cuadrado(ajustado)	R-cuadrado (pred)
66.9588	46.70%	26.72%	0.00%

Medias

Factor	N	Media	Desv.Est.	IC de 95%
Control 0% Fibra	3	644.2	84.9	(555.0, 733.3)
1% de Fibra	3	582.6	85.0	(493.4, 671.7)
1.5% de Fibra	3	537.2	35.4	(448.1, 626.4)
2% de Fibra	3	508.7	47.4	(419.6, 597.8)

Desv.Est. agrupada = 66.9588

Comparaciones en parejas de Tukey

Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95%

Factor	N	Media	Agrupación
Control 0% Fibra	3	644.2	A
1% de Fibra	3	582.6	A
1.5% de Fibra	3	537.2	A
2% de Fibra	3	508.7	A

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

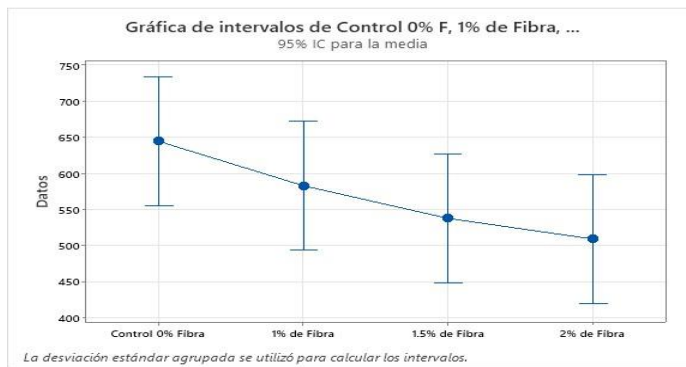
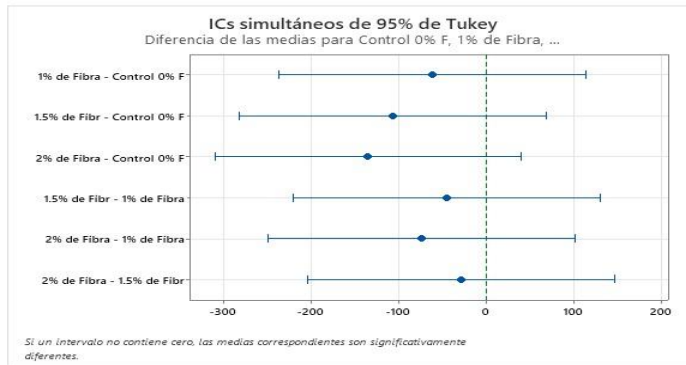


Ilustración 50. ANOVA de un factor de las mezclas de concreto.

El valor de p en la comparación de las medias de la resistencia a la flexión en las muestras es de 0.150 mayor al nivel de significancia, por lo tanto, no se rechaza. No hay evidencia significativa de diferencia entre las medias de las mezclas.

En resumen, la mezcla de concreto con adición de fibra de pesudotallos de banano no modifica de forma considerable la resistencia del concreto.

VI. APLICABILIDAD

En este apartado, se analiza la viabilidad económica de utilizar concreto con fibra de pseudotallo de banano frente al concreto convencional, detallando los costos de cada opción por metro cúbico. Se considera el costo de materiales, mano de obra, herramientas y equipos, así como el impacto en costos de mantenimiento a largo plazo. El objetivo de este análisis es proporcionar una visión integral de los beneficios financieros y de sostenibilidad que el concreto con adición de fibra de pseudotallo puede ofrecer en comparación con el concreto convencional.

A partir de una estructura de costos desglosada, se exploran los beneficios de la fibra de pseudotallo, un recurso agrícola de bajo costo y abundante en regiones productoras de banano. Si bien la adición de fibra requiere un tratamiento previo, su costo resulta ser menor que el de otros aditivos sintéticos. Esto permite que el costo total por metro cúbico de concreto con fibra se mantenga competitivo, e incluso, con potenciales ahorros en comparación con el concreto convencional, gracias a una menor necesidad de mantenimiento a lo largo de la vida útil del concreto reforzado.

Por ello, se describen los diferentes costos que incluye dicha comparativa donde abarca los materiales utilizados, producción y mano de obra empleada para la elaboración de los dos tipos de concreto.

Costo de Materiales

El costo de los materiales para el concreto convencional incluye principalmente cemento, arena, grava y agua. La introducción de fibra de pseudotallo de banano añade un componente adicional a la mezcla, pero este aumento se ve compensado, ya que la fibra es un residuo agrícola disponible a bajo costo en regiones productoras de banano. Aunque el proceso de tratamiento y preparación de la fibra tiene un

costo, su precio es menor en comparación con fibras sintéticas y aditivos tradicionales.

Costo de Producción

La mezcla de concreto con adición de fibra de pseudotallo implica una adaptación mínima en los procesos de producción, ya que la fibra se integra directamente en el diseño de mezcla, sin requerir cambios sustanciales en la maquinaria o en el equipo de preparación del concreto. Por lo tanto, el impacto en los costos de producción es marginal, y la principal inversión se concentra en la obtención y tratamiento de la fibra.

Costo de Mano de Obra

La incorporación de fibra no afecta significativamente el costo de la mano de obra, ya que el proceso de mezcla y colocación se realiza de forma similar a la del concreto convencional. Los operarios pueden adaptar fácilmente el manejo del concreto con fibra, lo que minimiza la necesidad de entrenamiento adicional o de mano de obra especializada. Esto representa un ahorro indirecto en proyectos que deseen aprovechar este material sin incurrir en gastos adicionales por capacitación.

6.1. CÁLCULO DE CANTIDADES DE MATERIALES

A continuación, se presenta el cálculo efectuado para la producción de un metro cubico de concreto, con el fin de conocer la cantidad de cemento, arena, grava y agua a requerir y comparar dicho concreto con respecto al concreto con adición de fibra de banano a partir de fichas de costos.

$$\text{Volumen total} = 1 \text{ m}^3$$

$$\text{Dosificación} = 1:2:3$$

$$1 \text{ m}^3 = 35.29 \text{ pie}^3$$

$$1m^3 = 10 \text{ bls}$$

$$\text{Cemento: } 1 m^3 = \left(\frac{10 \text{ bls}}{1 m^3}\right) = 10 \text{ bls}$$

$$\text{Arena: } 10 \text{ bls} \times 2 \text{ pie}^3 = 20 \text{ pie}^3 = \left(\frac{1 m^3}{35.29 \text{ pie}^3}\right) = 0.57 m^3$$

$$\text{Grava: } 10 \text{ bls} \times 3 \text{ pie}^3 = 30 \text{ pie}^3 = \left(\frac{1 m^3}{35.29 \text{ pie}^3}\right) = 0.85 m^3$$

$$\text{Agua: } 10 \text{ bls} \times 5 \text{ gls} = 50 \text{ gls}$$

6.2. FICHAS DE COSTOS DE DISEÑO DE CONCRETO CONVENCIONAL Y CON ADICIÓN DE FIBRA DE BANANO

En el siguiente apartado se muestran las diferentes fichas de costos desglosadas donde abarcan la producción de las mezclas de concreto control y con adición de fibra de banano, adicionalmente, se presenta una ficha de costo de la obtención y tratamiento de dicha fibra. De igual forma, se desglosan la explosión de insumo de los materiales, mano de obra y equipos.

ITEM	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	Unidad CANT. / RENDIMIENTO	m3 DESPERDICIO	Cantidad P.U.	1.00 SUBTOTAL
1.00	Materiales					
1.01	Cemento Tipo I	bls	10	3%	L. 223.00	L. 2,296.90
1.02	Arena	m3	0.567	7%	L. 598.00	L. 362.63
1.03	Grava 3/4"	m3	0.850	5%	L. 575.00	L. 513.25
1.04	Agua	gls	50.00	25%	L. 0.60	L. 37.50
					Subtotal Mat	L. 3,210.28
2.00	Mano de Obra	Unidad	Rendimiento	Total Und	Precio/und	Sub Total
2.01	Laboratorista	jrd	1.000		550.00	L. 550.00
2.02						L. 0.00
2.03						L. 0.00
					Subtotal M.O.	L. 550.00
3.00	Herramientas y Equipo	Unidad	Rendimiento	Total/und	Precio/und	Sub Total
3.01	Herramienta menor	%	0.050		L. 550.00	L. 27.50
3.02	Mezcladora	jdr	0.125		L. 800.00	L. 100.00
3.03						L. 0.00
					Subtotal H.E.	L. 127.50
					Costo Directo Total	L. 3,887.78
					% Indirectos	25.00%
					Costo Final	L. 4,856.72
					Costo Unitario Final	4,856.72

Ilustración 51. Ficha de costo concreto control.

ITEM	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	Unidad CANT. / RENDIMIENTO	glb DESPERDICIO	Cantidad P.U.	1.00 SUBTOTAL
1.00	Materiales					
1.01	Agua	gls	6	25%	L. 0.60	L. 4.50
1.02	Fibra de banano	lb	20	10%	L. 40.00	L. 880.00
1.03	Hidroxido de sodio	und	1	5%	L. 470.00	L. 493.50
1.04	Agua destilada	gls	3	15%	L. 285.00	L. 983.25
					Subtotal Mat	L. 2,361.25
2.00	Mano de Obra	Unidad	Rendimiento	Total Und	Precio/und	Sub Total
2.01	Agricultor	jdr	1.000		508.00	L. 508.00
						L. 0.00
					Subtotal M.O.	L. 508.00
3.00	Herramientas y Equipo	Unidad	Rendimiento	Total/und	Precio/und	Sub Total
3.01	Herramienta menor	%	0.050		L. 550.00	L. 27.50
						L. 0.00
					Subtotal H.E.	L. 27.50
					Costo Directo Total	L. 2,896.75
					% Indirectos	25.00%
					Costo Final	L. 3,620.G4
					Costo Unitario Final	3,620.G4

Ilustración 52. Ficha de costo de fibra de banano.

ITEM	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	Unidad CANT. / RENDIMIENTO	m3 DESPERDICIO	Cantidad P.U.	1.00 SUBTOTAL
1.00	Materiales					
1.01	Cemento Tipo I	bls	10	3%	L. 223.00	L. 2,296.90
1.02	Arena	m3	0.567	7%	L. 598.00	L. 362.63
1.03	Grava 3/4"	m3	0.850	5%	L. 575.00	L. 513.25
1.04	Agua	gls	50	25%	L. 0.60	L. 37.50
1.05	Fibra de banano Curada	lb	20	10%	L. 40.00	L. 3,620.94
1.06						
1.07						
					Subtotal Mat	L. 6,831.22
2.00	Mano de Obra	Unidad	Rendimiento	Total Und	Precio/und	Sub Total
2.01	Laboratorista	jdr	1.000		550.00	L. 550.00
						L. 0.00
					Subtotal M.O.	L. 550.00
3.00	Herramientas y Equipo	Unidad	Rendimiento	Total/und	Precio/und	Sub Total
3.01	Herramienta menor	%	0.050		L. 550.00	L. 27.50
3.02	Mezcladora	jdr	0.125		L. 800.00	L. 100.00
						L. 0.00
					Subtotal H.E.	L. 127.50
					Costo Directo Total	L. 7,508.72
					% Indirectos	25.00%
					Costo Final	L. G,385.G0
					Costo Unitario Final	G,385.G0

Ilustración 53. Ficha de costo concreto con fibra.

Para el cálculo de explosión de insumos, el proceso a efectuar consiste en realizar la sumatoria de la cantidad de materiales y rendimiento de mano de obra y equipo de las fichas de tratamiento de la fibra, concreto convencional y concreto con adición de fibra de banano.

Agua: $50 + 50 + 6 = 106 \text{ gls}$

Agua destilada = 3 gls

Arena: $0.567 + 0.567 = 1.13 \text{ m}^3$

Cemento: $10 + 10 = 20 \text{ bls}$

Fibra de banano = 20 lbs

Grava: $0.85 + 0.85 = 1.70 \text{ m}^3$

Hidroxido de sodio = 1 und

EXPLOSIÓN DE INSUMOS COSTO DIRECTO (MATERIALES)							
ITEM	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	P. UNITARIO (ISV INCLUIDO)	COSTO DIRECTO, LPS.	CANTIDAD REAL	COSTO LPS. REAL
I	MATERIALES						
1.01	Agua	gls	106.00	L 0.60	L 63.60	106.00	L 63.60
2.01	Agua destilada	gls	3.00	L 285.00	L 855.00	3.00	L 855.00
3.01	Arena	m3	1.13	L 598.00	L 677.81	2.00	L 1,196.00
4.01	Cemento	bls	20.00	L 223.00	L 4,460.00	20.00	L 4,460.00
5.01	Fibra de banano	lbs	20.00	L 40.00	L 800.00	20.00	L 800.00
6.01	Grava	m3	1.70	L 575.00	L 977.61	2.00	L 1,150.00
7.01	Hidroxido de sodio	und	1.00	L 470.00	L 470.00	1.00	L 470.00
			TOTAL		L 8,304.03		L 8,994.60

Ilustración 54. Explosión de insumos materiales.

EXPLOSIÓN DE INSUMOS COSTO DIRECTO (MANO DE OBRA)							
ITEM	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD (FICHAS)	P. UNITARIO (FICHAS)	COSTO DIRECTO, LPS.	CANTIDAD ENTERA	COSTO LPS. REAL
I		MANO DE OBRA					
1.01	Laboratorista	JDR	2.00	L. 550.00	L 1,100.00	2.00	L 1,100.00
1.02	Agricultor	JDR	1.00	L. 508.00	L 508.00	1.00	L 508.00
Subtotal					L 1,608.00		L 1,608.00
II		Herramienta y equipo					
2.01	Herramienta menor	JDR	0.15	L. 550.00	L 82.50	1.00	L 550.00
2.02	Mezclador	M3/JDR	0.25	L. 800.00	L 200.00	1.00	L 800.00
Subtotal					L 282.50		L 1,350.00
TOTAL					1,800.50		2,658.00

Ilustración 55. Explosión de insumos mano de obra y equipos

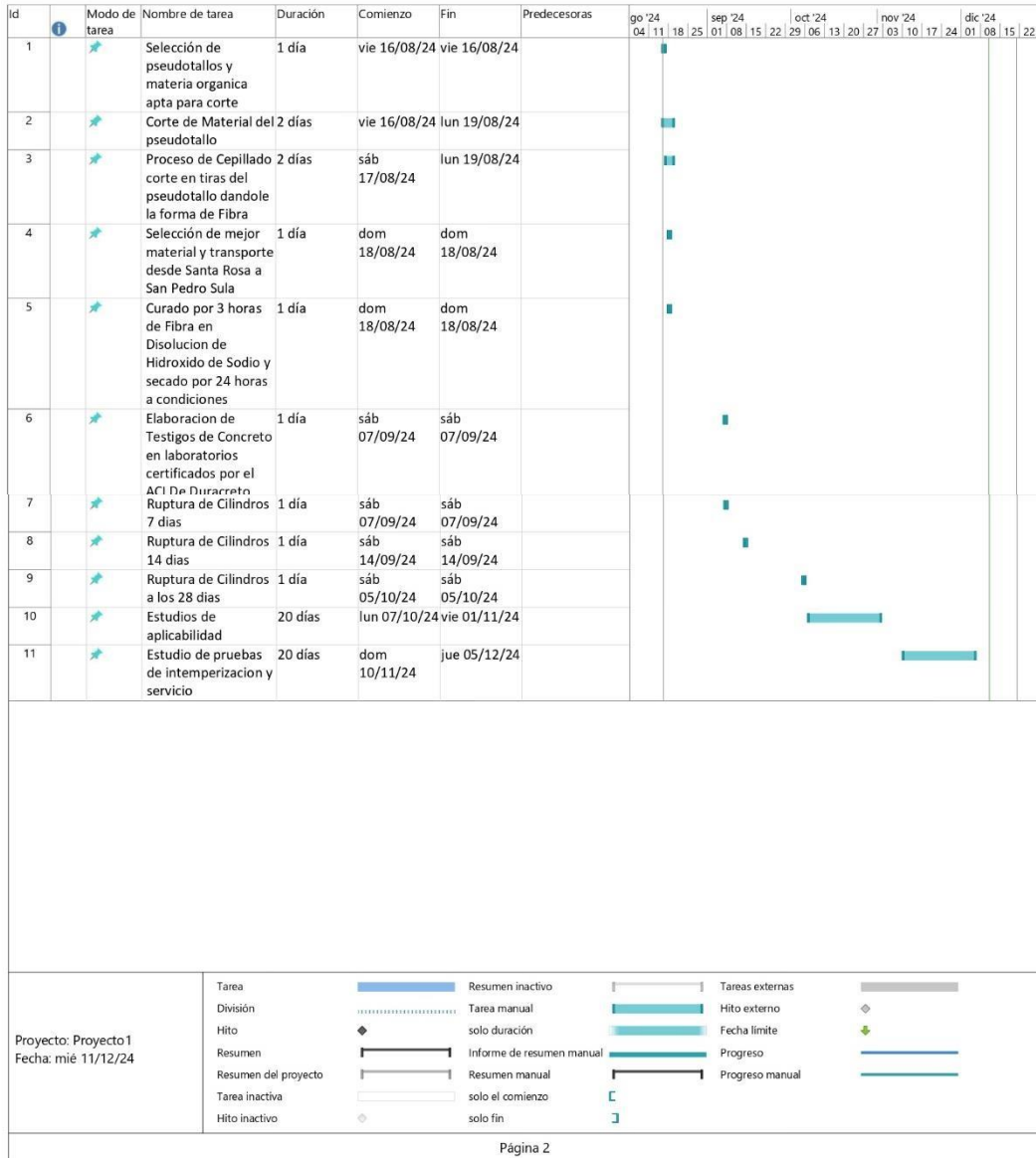


Ilustración 56. Cronograma de actividades.

VII. CONCLUSIONES

1. La fibra de pseudotallo de banano fue sometida a un proceso de extracción manual, que incluyó el corte del pseudotallo y la separación de sus capas para posteriormente extraer la fibra mediante un cepillo metálico. Posteriormente, se realizó un tratamiento químico con hidróxido de sodio y agua destilada para eliminar resinas y compuestos alcalinos presentes en la fibra, optimizando así sus propiedades para su integración en el concreto.
2. De acuerdo con la normativa ACI 211.1, se estableció que la dosificación por peso adecuada para la mezcla de concreto con fibra de pseudotallo de banano debe contener 142.40 lb de grava y 75.97 lb de cemento. En cuanto a la fibra, se incorporaron proporciones del 1%, 1.5% y 2%, en sustitución parcial de la arena, resultando en pesos de 0.85 lb, 1.27 lb y 1.70 lb, respectivamente. En consecuencia, el peso de la arena se ajustó proporcionalmente, obteniendo valores de 84.76 lb, 83.91 lb, 83.49 lb y 83.06 lb para las mezclas de control, 1%, 1.5% y 2%, respectivamente.
3. Los ensayos de resistencia a la compresión y flexión indicaron que la adición de fibra de pseudotallo de banano afecta la resistencia mecánica del concreto. Se observó una reducción en la resistencia a compresión para las mezclas con 1.5% y 2% de fibra, con valores inferiores a los 4000 psi de resistencia de diseño a los 7 y 14 días, aunque logrando valores mínimos superiores a esta resistencia a los 28 días. Por otro lado, la adición del 1% de fibra mantuvo una resistencia aceptable sin reducir significativamente el desempeño respecto a la mezcla convencional, logrando valores superiores a los 4000 psi desde los 14 días. Además, se evidenció que el incremento en la proporción de fibra tiende a reducir la resistencia a la compresión, pero mejora la resistencia a la flexión, alcanzando un módulo de rotura superior a 600 psi desde los 14 días, lo que indica un efecto positivo en la capacidad a flexión del concreto.

4. Con base en los resultados obtenidos, se determinó que la proporción óptima de fibra de pseudotallo de banano en la mezcla de concreto es del 1%, ya que permite una mejora en las propiedades mecánicas sin comprometer significativamente la resistencia a la compresión, mientras que favorece el desempeño a flexión.

El análisis de los tipos de fractura en los especímenes de concreto demostró que la incorporación de fibra de pseudotallo de banano no altera significativamente el patrón de falla respecto al concreto convencional. La mayoría de las muestras presentaron fallas de Tipo 3, según la clasificación de la ASTM C1609, en todas las edades evaluadas (7, 14 y 28 días), tanto en la mezcla de control como en aquellas con distintos porcentajes de fibra. Esto indica que la fibra no debilita el mecanismo de falla del concreto ni genera fisuras atípicas.

5. El proceso de fabricación de concreto con fibra de pseudotallo de banano representa un incremento en los costos de producción, debido a los gastos asociados con la extracción, tratamiento y refinamiento del material antes de su incorporación en la mezcla. Se estima que esta diferencia es aproximadamente de un 50.55% en comparación con una mezcla sin fibra, lo que representa un desafío para su viabilidad comercial. La reducción en el consumo de arena no genera un impacto económico significativo que compense este aumento en costos. Por lo tanto, se recomienda continuar con investigaciones que optimicen el proceso de preparación de la fibra y ampliar el espectro de pruebas para alcanzar un punto de equilibrio que permita su competitividad con otras fibras en el mercado.

VIII. RECOMENDACIONES

1. Se recomienda experimentar con diferentes proporciones de fibra, principalmente en el umbral inferior al 5%, incluyendo valores cercanos al 0%, debido a que el volumen de las muestras, de manera unitaria, podría estar afectando la proporción en peso que debería ser introducida en la mezcla para un diseño óptimo.
2. Se considera necesario evaluar diferentes métodos de mezcla para asegurar una distribución más uniforme de la fibra en el concreto. La adición de vibradores al proceso de mezcla podría mejorar la compactación y evitar posibles fallas estructurales. Sin embargo, se debe validar su efectividad mediante pruebas de homogeneidad, siguiendo la ASTM C94/C94M, que regula la mezcla y entrega de concreto.
3. Se recomienda probar con diferentes longitudes de fibra para mejorar la cohesión entre las partículas del concreto. En este estudio, la adherencia observada fue deficiente, lo que sugiere que la fibra no se integró correctamente en la matriz cementicia, a pesar de que fueron utilizadas longitudes de 38 mm por ser una medida casi estandar en diferentes tipos de fibras. Se sugiere probar longitudes de 10 mm, 20 mm y 30 mm, con el objetivo de evaluar su impacto en la resistencia mecánica del concreto, siempre alineado con pruebas de tracción indirecta bajo la ASTM C496/C496M.
4. Se sugiere realizar pruebas de durabilidad adicionales para evaluar el comportamiento del concreto con fibra bajo condiciones de servicio reales. Específicamente, se recomienda pruebas de absorción de agua (ASTM C642) y ciclos de congelamiento y deshielo (ASTM C666) para determinar si la presencia de

fibra afecta la estabilidad del concreto en ambientes húmedos y con variaciones térmicas.

5. Se recomienda ampliar la escala de estudio para obtener resultados más homogéneos y estadísticamente representativos de diferentes dosificaciones. Debido a limitaciones en la presente investigación, el número de testigos de concreto fue insuficiente para establecer valores estándar. Se sugiere aumentar la cantidad de especímenes a al menos 30 por cada dosificación, aplicando análisis estadísticos conforme a la ASTM E122 para determinar el tamaño de muestra necesario.

Una recomendación clave para la aplicación de la fibra de pseudotallo de plátano en la construcción es explorar más a fondo el proceso de industrialización, extracción y tratamiento de esta fibra, examinando tanto los métodos actuales como las innovaciones posibles. La industrialización de la fibra permitiría su producción en masa y competir con otras fibras sintéticas y otros materiales de refuerzo en los sectores del concreto. Adicionalmente, a lo que respecta a la disponibilidad del pseudotallo de plátano, es necesario evaluar su disponibilidad y ubicación en las diferentes regiones identificando las áreas de alta producción agrícola y calcular la logística y los costos asociados. Al ser una fuente de residuos agrícolas, la fibra de pseudotallo tiene potencial como fuente sostenible y debería integrarse en la economía circular. El siguiente paso de la investigación debería dedicarse a los métodos de extracción y, de manera más detallada, a los procesos de extracción mecánicos y químicos. Se debe equilibrar la eficiencia, la calidad y costo del proceso de extracción. Además, por un lado, se debe desarrollar estándares que regulen la extracción para asegurar la durabilidad y la resistencia de la fibra y, por otro, tratar nuevas fibras para mejorar sus propiedades mecánicas y reducir la absorción de agua es clave. Desde el punto de vista de la manufactura para la escalabilidad, investigar la posible demanda de maquinaria especializada facilitaría el procesamiento de tallos en fibras de diferentes longitudes y

grosos. Y, finalmente, la viabilidad económica y logística requiere un análisis completo de los costos de la extracción, el tratamiento y el transporte de la fibra.

6. Para probar cargas de servicio en condiciones simuladas, será necesario el uso de maquinaria especializada para realizar pruebas de cargas sostenidas y flexiones a lo largo del tiempo. Además, sería conveniente evaluar las reacciones de la fibra de manera individual en un entorno natural y luego en el concreto con fibra. De este modo, sería más fácil interpretar el comportamiento de los elementos fabricados con nuestro concreto dosificado con fibra de pseudotallo en situaciones de servicio reales.
7. Se recomienda diseñar mezclas de concreto con un mayor revenimiento para evaluar si un aumento en esta propiedad mejora la integración de la fibra de banano y su efecto en la resistencia a compresión y flexión. Para ello, se deben realizar pruebas de revenimiento conforme a la ASTM C143/C143M y correlacionar los resultados con pruebas de resistencia a compresión bajo la ASTM C39/C39M..

BIBLIOGRAFÍA

- ACI 211.91. (2009). *Práctica estándar para la selección de proporciones para hormigón normal, pesado y en masa*.
<https://www.concrete.org/publications/internationalconcreteabstractsportal/m/details/id/5092>
- ACI 544.1R. (2009). *Informe sobre el hormigón reforzado con fibras*.
https://www.concrete.org/store/productdetail.aspx?ItemID=544196&Format=DOWNLOAD&Language=English&Units=US_AND_METRIC
- Ahmad, J., Zaid, O., Siddique, M. S., Aslam, F., Alabduljabbar, H., & Khedher, K. M. (2021). Mechanical and durability characteristics of sustainable coconut fibers reinforced concrete with incorporation of marble powder. *Materials Research Express*, 8(7), 075505. <https://doi.org/10.1088/2053-1591/ac10d3>
- Armas-Ruiz, D., Ruiz-Galarza, S., Piován, M., Carrión-Matamoros, L., & Narváez-Muñoz, C. (2016). Caracterización de propiedades mecánicas de las fibras de banano de la corteza y el cuerpo del tallo. *Científica*, 20(1), 21-31.
- ASTM C29. (2007). *Método de prueba estándar para la densidad aparente ("peso unitario") y los huecos en los agregados*. https://www.astm.org/c0029_c0029m-17a.html
- ASTM C39. (2007). *Método de prueba estándar para la resistencia a la compresión de muestras cilíndricas de hormigón*. https://www.astm.org/c0039_c0039m-21.html
- ASTM C40. (2007). *Método de prueba estándar para impurezas orgánicas en agregados finos para hormigón*. <https://www.astm.org/c0040-04.html>
- ASTM C78. (2007). *Método de prueba estándar para la resistencia a la flexión del hormigón (utilizando una viga simple con carga en un tercer punto)*.
<https://www.astm.org/c0078-09.html>
- ASTM C125. (2012). *Terminología estándar relacionada con el hormigón y los áridos del hormigón*. <https://www.astm.org/c0125-21a.html>

- ASTM C127. (2007). *Método de prueba estándar para la densidad relativa (gravedad específica) y la absorción de agregados gruesos*. <https://www.astm.org/c0127-24.html>
- ASTM C128. (2007). *Método de prueba estándar para la densidad relativa (gravedad específica) y la absorción de agregados finos*. <https://www.astm.org/c0128-22.html>
- ASTM C136. (2014). *Método de prueba estándar para el análisis granulométrico de agregados finos y gruesos*. <https://www.astm.org/c0136-06.html>
- ASTM C143. (2008). *Método de prueba estándar para determinar el asentamiento del hormigón de cemento hidráulico*. https://www.astm.org/c0143_c0143m-20.html
- ASTM C172. (2014). *Práctica estándar para el muestreo de hormigón recién mezclado*. <https://www.astm.org/c0172-08.html>
- ASTM C192. (2007). *Práctica estándar para la fabricación y el curado de muestras de hormigón en el laboratorio*. https://www.astm.org/c0192_c0192m-19.html
- Bamaga, S. O. (2022). A Review on the Utilization of Date Palm Fibers as Inclusion in Concrete and Mortar. *Fibers*, 10(4), Article 4. <https://doi.org/10.3390/fib10040035>
- Begum, K., & Islam, Md. A. (2013). Natural fiber as a substitute to synthetic fiber in polymer composites: A review. *Research Journal of Engineering Sciences*, 2, 46-53.
- Bullard, J. W. (2008). A Determination of Hydration Mechanisms for Tricalcium Silicate Using a Kinetic Cellular Automaton Model. *Journal of the American Ceramic Society*, 91(7), 2088-2097. <https://doi.org/10.1111/j.1551-2916.2008.02419.x>
- Bullard, J. W., Jennings, H. M., Livingston, R. A., Nonat, A., Scherer, G. W., Schweitzer, J. S., Scrivener, K. L., & Thomas, J. J. (2011). Mechanisms of cement hydration. *Cement and Concrete Research*, 41(12), 1208-1223. <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2010.09.011>

- Cai, Y., & Liu, Q. (2023). Stability of fresh concrete and its effect on late-age durability of reinforced concrete: An overview. *Journal of Building Engineering*, 79, 107701. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2023.107701>
- Castillo-Lara, J. F., Flores-Johnson, E. A., Valadez-Gonzalez, A., Herrera-Franco, P. J., Carrillo, J. G., Gonzalez-Chi, P. I., & Li, Q. M. (2020). Mechanical Properties of Natural Fiber Reinforced Foamed Concrete. *Materials*, 13(14), Article 14. <https://doi.org/10.3390/ma13143060>
- Cenosa. (2020). *Ficha técnica Cemento Bijao Tipo I*.
- Chen, W., Qin, G., Luo, F., Zhu, Y., Fu, G., Yao, S., & Ma, H. (2023). Experimental Study and Numerical Analysis on the Shear Resistance of Bamboo Fiber Reinforced Steel-Wire-Mesh BFRP Bar Concrete Beams. *Materials*, 16(9), Article 9. <https://doi.org/10.3390/ma16093446>
- Dadkhah, M., & Tulliani, J.-M. (2022). Damage Management of Concrete Structures with Engineered Cementitious Materials and Natural Fibers: A Review of Potential Uses. *Sustainability*, 14(7), Article 7. <https://doi.org/10.3390/su14073917>
- Domínguez, N. (2020). *Plátano (Musa paradisiaca)*. iNaturalist Mexico. <https://mexico.inaturalist.org/taxa/276927-Musa-paradisiaca>
- Edris, W. F., Elbially, S., El-Zohairy, A., Soliman, A. M., Shawky, S. M. M., Selouma, T. I., & Al Sayed, A. A.-K. A. (2024). Examining Mechanical Property Differences in Concrete with Natural and Synthetic Fiber Additives. *Journal of Composites Science*, 8(5), Article 5. <https://doi.org/10.3390/jcs8050167>
- Elbehiry, A., Elnawawy, O., Kassem, M., Zaher, A., & Mostafa, M. (2021). FEM evaluation of reinforced concrete beams by hybrid and banana fiber bars (BFB). *Case Studies in Construction Materials*, 14, e00479. <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2020.e00479>
- Elbehiry, A., Elnawawy, O., Kassem, M., Zaher, A., Uddin, N., & Mostafa, M. (2020). Performance of concrete beams reinforced using banana fiber bars. *Case*

Studies in Construction Materials, 13, e00361.

<https://doi.org/10.1016/j.cscm.2020.e00361>

- Figueroa, F. (2024). *Reportes de ensayos de laboratorio a los agregados grueso y fino*. Constructora William y Molina.
- Firasath Ali, M., Ali, S., Ahmed, M., Patel, S., & Wahib, M. (2021). *Study on Strength Parameters of Concrete by adding Banana Fibers*.
- Garavello, M. E. de P. E., Silva, M. R. da, & Santos, K. M. P. dos. (2008). Artesanía con fibra de banano em la perspectiva de la multifuncionalidad en comunidades quilombolas. *Interciencia*, 33(1), 34-40.
- He, J., Sun, C., & Wang, X. (2024). Mechanical Properties and Microanalytical Study of Concrete Reinforced with Blended Corn Straw and Scrap Steel Fibers. *Materials*, 17(15), Article 15. <https://doi.org/10.3390/ma17153844>
- Hernández, D. R. M. (2021). Cultivo de plátano en Honduras: Estudio de caso con pequeños agricultores del municipio de Cane. *RIVAR*, 8(23), Article 23. <https://doi.org/10.35588/rivar.v8i23.4919>
- Hernandez, L., Gómez, P., Contreras, C., Liseth, B., Padilla, S., & Contreras, A. (2018). *RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL CONCRETO*. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.16390.63044>
- Huaricallo Vilca, Y., Alarcón Cueva, A. J., Regalado Arévalo, O. I., Huaricallo Vilca, Y., & Romero Cueva, Y. J. (2023). Improvement of concrete resistance $f_c = 210 \text{ kg/cm}^2$ adding steel chips and fiberglass, Cajamarca 2022. *LACCEI*, 1(8), Article 8. <https://doi.org/10.18687/LACCEI2023.1.1.559>
- Iniya, M. P., & Nirmalkumar, K. (2021). A Review on Fiber Reinforced Concrete using sisal fiber. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 1055(1), 012027. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/1055/1/012027>
- Kosmatka, S., & Wilson, M. (2011). *Design and Control of Concrete Mixtures*.

- Krishnasamy, M. E., Vasanth, R., Selvi, K., & Ravisankar, K. L. (2024). Study on the changes in properties of concrete by lime as a partial replacement of cement. *AIP Conference Proceedings*, 3146(1), 020018. <https://doi.org/10.1063/5.0224428>
- Kumarasamy, K., Shyamala, G., Gebreyowhanse, H., & Kumarasamy. (2020). Strength Properties of Bamboo Fiber Reinforced Concrete. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 981(3), 032063. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/981/3/032063>
- Matallana, R. (2019). *El Concreto Fundamentos y Nuevas Tecnologías*.
- Mc Cormac, J., & Brown, R. (2011). *Diseño de concreto reforzado*. (Octava edición). Alfaomega Grupo Editor, S.A. de C.V.,.
- Mehta, P. K., & Monteiro, P. (2001). Concrete: Microstructure, Properties, and Material. *Concrete: Microstructure, Properties and Materials*, 25-29.
- Moreno Sáenz, D. A., & Neusa Rey, J. S. (2021). *Evaluación para la obtención de una fibra textil a partir de pseudotallo de plátano*. <https://hdl.handle.net/20500.11839/8317>
- Mostafa, M., & Uddin, N. (2015). Effect of Banana Fibers on the Compressive and Flexural Strength of Compressed Earth Blocks. *Buildings*, 5(1), Article 1. <https://doi.org/10.3390/buildings5010282>
- Orozco, J. J. A., Escudero, K. N. P., Franco, J. G. B., & Sari, T. A. V. (2020). *Análisis y evaluación de Hormigones elaborados con "Agua Gris", obtenidos de la Planta San Eduardo de Holcim Ecuador S.A, en base a los diseños del Hospital del IESS – Los Ceibos, Guayaquil*. <https://laccei.org/LACCEI2020-VirtualEdition/meta/FP20.html>
- Pacheco, A. R. (2020). *Programa de Banano y Plátano, Fundación Hondureña de Investigación Agrícola*. http://www.fhia.org.hn/html/Programa_de_Banano_y_Platano.html

- Research, Z. M. (2021). *Global Concrete Fiber Market Size, Type, Manufacturers, Industry Report 2022-2028*. Zion Market Research. <https://www.zionmarketresearch.com/report/concrete-fiber-market>
- Santos, J. R. dos, Oliveira, A. M. de, & Cascudo, O. (2024). Estudo das Propriedades no Estado Fresco e Endurecido de Concretos com Adições Mineraias. *Revista de Engenharia e Pesquisa Aplicada*, 8(3), 50-60. <https://doi.org/10.25286/rep.v8i3.2174>
- Satheesh Kumar, S., Murugesan, R., Sivaraja, M., & Athijayamani, A. (2024). Innovative Eco-Friendly Concrete Utilizing Coconut Shell Fibers and Coir Pith Ash for Sustainable Development. *Sustainability*, 16(13), Article 13. <https://doi.org/10.3390/su16135316>
- Sfikas, I. P., Badogiannis, E. G., & Trezos, K. G. (2014). Rheology and mechanical characteristics of self-compacting concrete mixtures containing metakaolin. *Construction and Building Materials*, 64, 121-129. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2014.04.048>
- Shah, I., Li, J., Yang, S., Zhang, Y., & Anwar, A. (2021). Experimental Investigation on the Mechanical Properties of Natural Fiber Reinforced Concrete. *JOURNAL OF RENEWABLE MATERIALS*, 10, 1307-1320. <https://doi.org/10.32604/jrm.2022.017513>
- Shah, M., & Ali, M. (2024). A Study on Mechanical Properties of Environmentally friendly Concrete Incorporating Banana Fiber and Banana Leaf Ash. *Engineering Proceedings*, 53(1), Article 1. <https://doi.org/10.3390/IOCBD2023-16867>
- Soler, D. (2021, junio 16). Aprende de concreto: Inspección de materia prima, agregados. *Cemento ALIÓN*. <https://alion.com.co/inspeccion-de-materia-prima-agregados/>
- Teruel, D. (2018). *Manual de Laboratorio de Concreto*.

- Thomas, J. (2010). *Los desafíos para los desechos agrícolas—ProQuest*.
<https://www.proquest.com/docview/336623230/abstract/58C5EC9D576B4327PQ/4?sourcetype=Newspapers>
- Velásquez, S., Peláez Arroyave, G., & Giraldo, D. (2016). Uso de fibras vegetales en materiales compuestos de matriz polimérica: Una revisión con miras a su aplicación en el diseño de nuevos productos. *Informador Técnico*, 80, 77.
<https://doi.org/10.23850/22565035.324>
- Vézina, A., & Baena, M. (2020). *Morfología de la planta del banano*. Improving the understanding of banana.
<http://www.promusa.org/Morfolog%C3%ADa+de+la+planta+del+banano>
- Villegas, E., Niacato, A., Lagos, S., & Romero, D. (2023). Hormigón fresco y su incidencia en sus propiedades físicas y mecánicas: Fresh concrete and its impact on its physical and mechanical properties. *LATAM Revista Latinoamericana de Ciencias Sociales y Humanidades*, 4. <https://doi.org/10.56712/latam.v4i2.959>
- Wahab, N., Srinophakun, P., Hussain, Q., & Chaimahawan, P. (2019). Performance of Concrete Confined with a Jute–Polyester Hybrid Fiber Reinforced Polymer Composite: A Novel Strengthening Technique. *Fibers*, 7(8), Article 8.
<https://doi.org/10.3390/fib7080072>
- Zaki, A., Aprilia, N. C., Rosyidi, S. A. P., & Mahbubi, K. (2024). Evaluation of Coconut Fiber in Corroded Reinforced Self-Healing Concrete Using NDT Methods. *NDT*, 2(3), Article 3. <https://doi.org/10.3390/ndt2030013>

ANEXOS



Ilustración 57. Fibras extraídas del pseudotallo de banano.

Fuente: (Propia, 2024).



Ilustración 58. Proceso de secado de la fibra.

Fuente: (Propia, 2024).

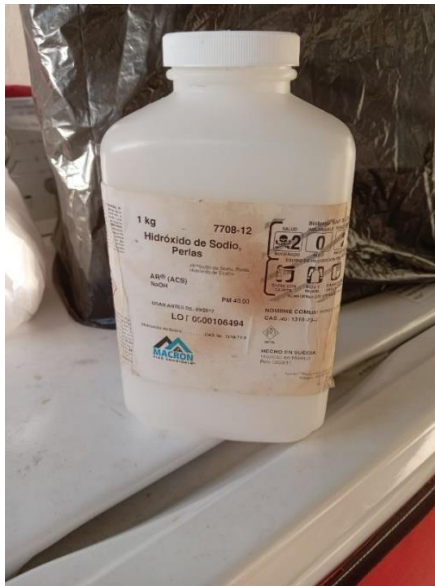


Ilustración 59. Hidróxido de sodio.

Fuente: (Propia, 2024).



Ilustración 60. Cantidad de agua utilizada.

Fuente: (Propia, 2024).



Ilustración 61. Fibra sumergida en la solución de agua e hidróxido de sodio.

Fuente: (Propia, 2024).



Ilustración 62. Fibra sumergida en agua destilada.

Fuente: (Propia, 2024).



Ilustración 63. Peso de la fibra a utilizar en la mezcla.

Fuente: (Propia, 2024).



Ilustración 64. Mezcla de concreto con adición de fibra.

Fuente: (Propia, 2024).



Ilustración 65. Revenimiento de la mezcla de concreto con fibra de banano.

Fuente: (Propia, 2024).



Ilustración 66. Contenido de aire de la mezcla de concreto con fibra de banano.

Fuente: (Propia, 2024).



Ilustración 67. Elaboración de especímenes de concreto.

Fuente: (Propia, 2024).



Ilustración 68. Proceso de golpeo a la mezcla de concreto.

Fuente: (Propia, 2024).



Ilustración 69. Muestras de cilindros y vigas de concreto.

Fuente: (Propia, 2024).



Ilustración 70. Desmolde de las muestras de concreto.

Fuente: (Propia, 2024).



Ilustración 71. Proceso de curado de las muestras de concreto.

Fuente: (Propia, 2024).



Ilustración 72. Proceso de secado de las muestras de concreto.

Fuente: (Propia, 2024).



Ilustración 73. Peso de cilindro de concreto.

Fuente: (Propia, 2024).



Ilustración 74. Peso de viga de concreto.

Fuente: (Propia, 2024).



Ilustración 75. Ruptura de cilindro de concreto con fibra de banano

Fuente: (Propia, 2024).



Ilustración 76. Ruptura de viga de concreto con fibra de banano.

Fuente: (Propia, 2024).




	REGISTRO DE CALIDAD DEL AGREGADO GRUESO			CODIGO: DCCR-34
	Elaborado por:	Jefe de Control de Calidad	Edición:	2
Aprobado por:	Representante de Dirección	Fecha:	12/8/2024	
Origen/Descripción de la Muestra:	PLANTA DE TRITURACIÓN SAN JORGE, GRAVA 3/4"			
Proyecto/ planta :	PLANTEL DURACRETO SAN PEDRO SULA			
Proveedor:	TRITURADORA SAN JORGE			
Código de la Muestra :	SPS-18/08/24-TSJ-3/4			
Lugar Fecha Hora :	SAN PEDRO SULA. AGOSTO 2024			
Laboratorista :	ING. JOSE DAVID			
		Parametros de Aceptacion Según ACI 221 R		Criterio
Porcentaje que pasa por el tamiz. No. 200 :	1.03%	0.2-1%	Rechazado	
Peso Volumetrico Compactado:	1592.01	1201.38 kg/m3 -1762.03 kg/m3	Aceptado	
Porcentaje de Vacios :	41.0%	38-50%	Aceptado	
Gravedad Especifica (OD):	2.62	1.6-3.2	Aceptado	
Gravedad Especifica (SSD):	2.66	1.6-3.2	Aceptado	
Gravedad Especifica Aparente :	2.74	1.6-3.2	Aceptado	
Porcentaje de Absorción :	1.65%	0.2-4%	Aceptado	
Modulo de finura	7.18	5.5 - 8.5	Aceptado	
Granulometria dentro de especificación :	SI <input checked="" type="checkbox"/>	NO <input type="checkbox"/>		
Toma de Decisión: Material Aceptado <input checked="" type="checkbox"/> Material Devuelto <input type="checkbox"/>				
OBSERVACIONES: Resultados estan comparados con los requisitos tipicos del ACI 221 R GUIA PARA EL USO DE AGREGADOS <u>DE PESO NORMAL</u> Cumple la curva Granulométrica ASTM C33 # 67 (3/4" a No. 4) _____ _____ _____				
  _____ Ing. Franklin Figueroa Jefe de Control de Calidad				

Ilustración 77. Reporte de ensayos a la grava 3/4".

Fuente: (Figueroa, 2024).


	PESO UNITARIO Y VACIOS DE LOS AGREGADOS GRUESO (ASTM C29)			CODIGO: DCCR-03																																																																															
	Elaborado por:	Jefe de Control de Calidad	Edición:	2	Pagina 1 de 1																																																																														
Aprobado por:	Representante de Dirección	Fecha:	12/8/2024																																																																																
Origen/Descripción de la Muestra: PLANTA DE TRITURACIÓN SAN JORGE, GRAVA 3/4"																																																																																			
Proyecto/ planta : PLANTEL DURACRETO SAN PEDRO SULA																																																																																			
Proveedor: PLANTA DE TRITURACIÓN SAN JORGE, GRAVA 3/4"																																																																																			
Código de la Muestra : SPS-18/08/24-TSJ-3/4																																																																																			
Lugar Fecha Hora : SAN PEDRO SULA. AGOSTO 2024																																																																																			
Laboratorista : ING. JOSE DAVID																																																																																			
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width: 30%;">No. De Ensayo</th> <th style="width: 15%;">Ensayo 1</th> <th style="width: 15%;">Ensayo 2</th> <th colspan="4"></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Peso del recipiente (Kgs.) :</td> <td style="text-align: center;">3.52</td> <td style="text-align: center;">3.52</td> <td colspan="4"></td> </tr> <tr> <td>temperatura del agua: (°C)</td> <td style="text-align: center;">29.00</td> <td style="text-align: center;">29.00</td> <td colspan="4"></td> </tr> <tr> <td>Peso Especifico del Agua: (kg/m3)</td> <td style="text-align: center;">1000.00</td> <td style="text-align: center;">1000.00</td> <td colspan="4"></td> </tr> <tr> <td>Volumen del Recipiente : (m3)</td> <td style="text-align: center;">0.00699</td> <td style="text-align: center;">0.00699</td> <td colspan="4"></td> </tr> <tr> <td>Peso del agregado suelto (Promedio)</td> <td style="text-align: center;">14.012</td> <td style="text-align: center;">14.017</td> <td colspan="4"></td> </tr> <tr> <td>Peso del agregado compactado (Promedio)</td> <td style="text-align: center;">14.640</td> <td style="text-align: center;">14.653</td> <td style="text-align: center;">PROMEDIO</td> <td colspan="3" style="text-align: center;">ACEPTACION ENSAYO</td> </tr> <tr> <td>Peso Unitario Suelto (OD) : (Kg/m3)</td> <td style="text-align: center;">1501.216</td> <td style="text-align: center;">1501.932</td> <td style="text-align: center;">1501.57</td> <td style="text-align: center;">0.72</td> <td colspan="2" style="text-align: center;">ACEPTADO</td> </tr> <tr> <td>Peso Unitario Compactado (OD) : (Kg/m3)</td> <td style="text-align: center;">1591.08</td> <td style="text-align: center;">1592.95</td> <td style="text-align: center;">1592.01</td> <td style="text-align: center;">1.86</td> <td colspan="2" style="text-align: center;">ACEPTADO</td> </tr> <tr> <td>Peso especifico BULK: (kg/m3)</td> <td style="text-align: center;">1617.40</td> <td style="text-align: center;">1619.29</td> <td style="text-align: center;">1618.34</td> <td style="text-align: center;">1.89</td> <td colspan="2" style="text-align: center;">ACEPTADO</td> </tr> <tr> <td>% de Vacios del Agregado</td> <td style="text-align: center;">40.92%</td> <td style="text-align: center;">40.85%</td> <td style="text-align: center;">41%</td> <td colspan="3"></td> </tr> </tbody> </table>							No. De Ensayo	Ensayo 1	Ensayo 2					Peso del recipiente (Kgs.) :	3.52	3.52					temperatura del agua: (°C)	29.00	29.00					Peso Especifico del Agua: (kg/m3)	1000.00	1000.00					Volumen del Recipiente : (m3)	0.00699	0.00699					Peso del agregado suelto (Promedio)	14.012	14.017					Peso del agregado compactado (Promedio)	14.640	14.653	PROMEDIO	ACEPTACION ENSAYO			Peso Unitario Suelto (OD) : (Kg/m3)	1501.216	1501.932	1501.57	0.72	ACEPTADO		Peso Unitario Compactado (OD) : (Kg/m3)	1591.08	1592.95	1592.01	1.86	ACEPTADO		Peso especifico BULK: (kg/m3)	1617.40	1619.29	1618.34	1.89	ACEPTADO		% de Vacios del Agregado	40.92%	40.85%	41%			
No. De Ensayo	Ensayo 1	Ensayo 2																																																																																	
Peso del recipiente (Kgs.) :	3.52	3.52																																																																																	
temperatura del agua: (°C)	29.00	29.00																																																																																	
Peso Especifico del Agua: (kg/m3)	1000.00	1000.00																																																																																	
Volumen del Recipiente : (m3)	0.00699	0.00699																																																																																	
Peso del agregado suelto (Promedio)	14.012	14.017																																																																																	
Peso del agregado compactado (Promedio)	14.640	14.653	PROMEDIO	ACEPTACION ENSAYO																																																																															
Peso Unitario Suelto (OD) : (Kg/m3)	1501.216	1501.932	1501.57	0.72	ACEPTADO																																																																														
Peso Unitario Compactado (OD) : (Kg/m3)	1591.08	1592.95	1592.01	1.86	ACEPTADO																																																																														
Peso especifico BULK: (kg/m3)	1617.40	1619.29	1618.34	1.89	ACEPTADO																																																																														
% de Vacios del Agregado	40.92%	40.85%	41%																																																																																
Toma de Decisión: Ensayo Aceptado <input checked="" type="checkbox"/>																																																																																			
Ensayo Rechazado <input type="checkbox"/>																																																																																			
OBSERVACIONES: _____ _____ _____																																																																																			

Ilustración 78. Reporte de laboratorio de peso volumétrico a la grava 3/4".

Fuente: (Figuroa, 2024).


		GRAVEDAD ESPECIFICA Y ABSORCIÓN DE AGREGADO GRUESO (ASTM C127)		CODIGO: DCCR-10	
Elaborado por: Jefe de Control de Calidad		Edición: 2		Página 1 de 1	
Aprobado por: Representante de Dirección		Fecha: 12/8/2024			
Origen/Descripción de la Muestra: PLANTA DE TRITURACIÓN SAN JORGE, GRAVA 3/4"					
Proyecto/ planta : PLANTEL DURACRETO SAN PEDRO SULA					
Proveedor: PLANTA DE TRITURACIÓN SAN JORGE, GRAVA 3/4"					
Código de la Muestra : SPS-18/08/24-TSJ-3/4					
Lugar Fecha Hora : SAN PEDRO SULA. AGOSTO 2024					
Laboratorista : ING. JOSE DAVID					
No. De Ensayo		Ensayo 1		Ensayo 2	
Peso de la muestra Seca (Gr):		2415.00		2415.00	
Peso en condicion saturada con superficie seca (Gr)		2454.94		2454.94	
Peso de la Canasta (Gr)		512.5		512.5	
Peso de la Canasta sumergida en agua (Gr)		456.3		456.3	
Peso de la Muestra sumergida en agua (Gr)		1532.9		1532.9	
Densidad del agua a 23° (Kg/m³)		997.5		997.5	
				Promedio	
				Desviación Estandar	
Gravedad Especifica (OD) :		2.619		2.619	
Gravedad Especifica (SSD) :		2.663		2.663	
Gravedad Especifica Aparente :		2.738		2.738	
% de Absorción de AF:		1.65%		1.65%	
				0.000	
				0.000	
				0.000	
				0.00%	
				0.00%	
				APROBADO	
				APROBADO	
				APROBADO	
				APROBADO	
Toma de Decisión:					
Ensayo Aceptado <input checked="" type="checkbox"/>					
Ensayo Rechazado <input type="checkbox"/>					
OBSERVACIONES:					

Ilustración 79. Reporte de laboratorio de peso específico y absorción a la grava 3/4".

Fuente: (Figuerola, 2024).

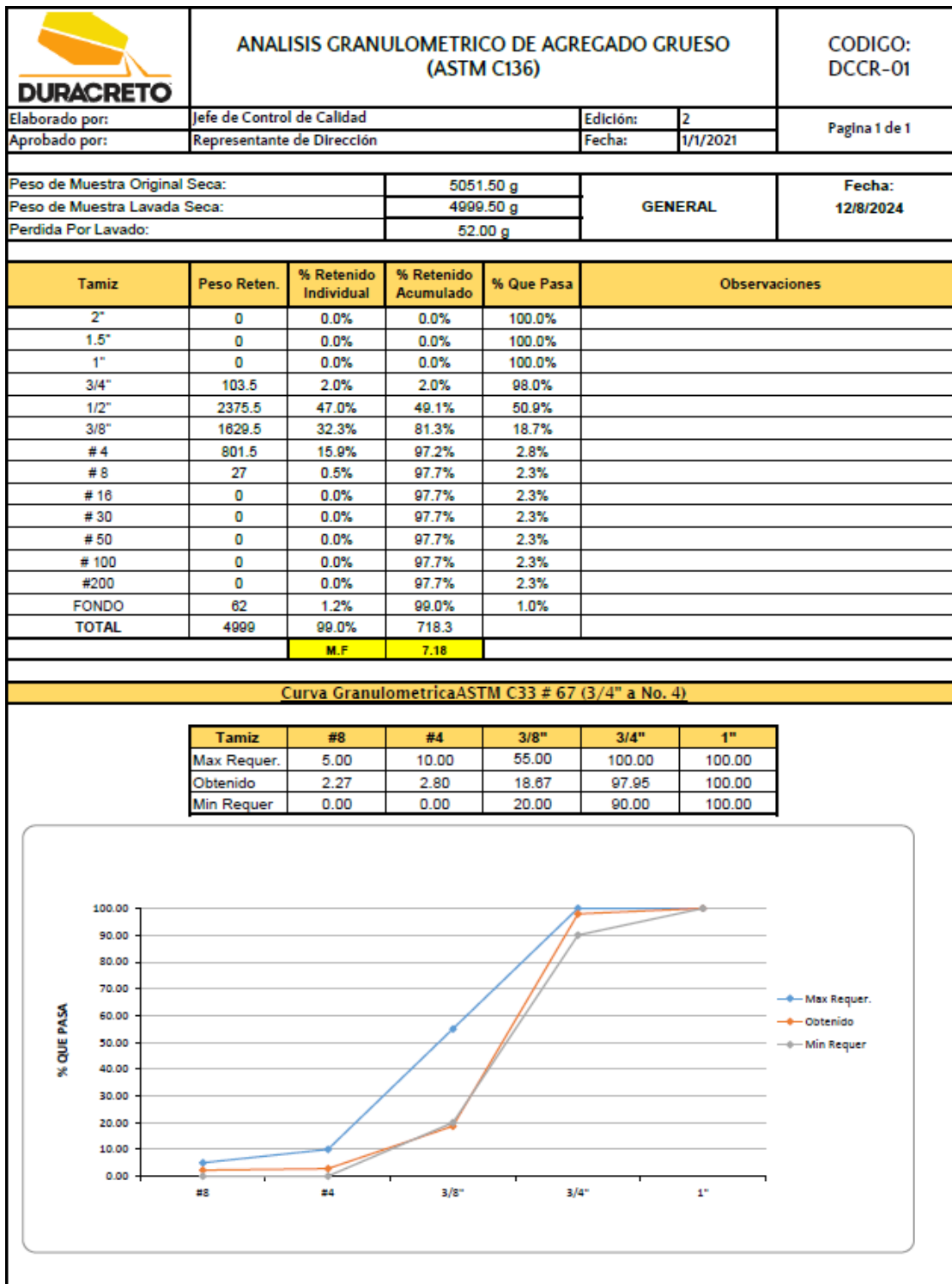


Ilustración 80. Reporte de laboratorio de granulometría a la grava 3/4".

Fuente: (Figuerola, 2024).


	GRAVEDAD ESPECIFICA Y ABSORCIÓN DE AGREGADO FINO (ASTM C128)		CODIGO: DCCR-10																																								
			Pagina 1 de 1																																								
Elaborado por:	Jefe de Control de Calidad	Edición:	2																																								
Aprobado por:	Representante de Dirección	Fecha:	1/1/2021																																								
Origen/ Descripción de la Muestra: Trituradora San Jorge, Arena																																											
Proyecto/ planta : Planta de Concreto, San Pedro Sula																																											
Proveedor: Trituradora San Jorge																																											
Código de la Muestra : SPS-04/09/24-TSJ-A																																											
Fecha: miércoles 04 de septiembre de 2024																																											
Laboratorista : Jeyson Rodríguez																																											
<table border="1"> <thead> <tr> <th>No. De Ensayo</th> <th>Ensayo 1</th> <th>Ensayo 2</th> <th></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Peso de la muestra SSS (Gr):</td> <td>500</td> <td>500</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Peso de la muestra seca (Gr):</td> <td>492</td> <td>492</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Peso de matraz Vacío (Gr)</td> <td>434.03</td> <td>434.03</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Peso de matraz + Agua (Gr)</td> <td>1442.5</td> <td>1442.5</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Peso de matraz + Agua + muestra (Gr):</td> <td>1751.5</td> <td>1751.5</td> <td>Promedio</td> </tr> <tr> <td>Gravedad Especifica (OD) :</td> <td>2.576</td> <td>2.576</td> <td>2.58</td> </tr> <tr> <td>Gravedad Especifica (SSD) :</td> <td>2.618</td> <td>2.618</td> <td>2.62</td> </tr> <tr> <td>Gravedad Especifica Aparente :</td> <td>2.689</td> <td>2.689</td> <td>2.69</td> </tr> <tr> <td>% de Absorción de AF:</td> <td>1.63%</td> <td>1.63%</td> <td>1.63%</td> </tr> </tbody> </table>				No. De Ensayo	Ensayo 1	Ensayo 2		Peso de la muestra SSS (Gr):	500	500		Peso de la muestra seca (Gr):	492	492		Peso de matraz Vacío (Gr)	434.03	434.03		Peso de matraz + Agua (Gr)	1442.5	1442.5		Peso de matraz + Agua + muestra (Gr):	1751.5	1751.5	Promedio	Gravedad Especifica (OD) :	2.576	2.576	2.58	Gravedad Especifica (SSD) :	2.618	2.618	2.62	Gravedad Especifica Aparente :	2.689	2.689	2.69	% de Absorción de AF:	1.63%	1.63%	1.63%
No. De Ensayo	Ensayo 1	Ensayo 2																																									
Peso de la muestra SSS (Gr):	500	500																																									
Peso de la muestra seca (Gr):	492	492																																									
Peso de matraz Vacío (Gr)	434.03	434.03																																									
Peso de matraz + Agua (Gr)	1442.5	1442.5																																									
Peso de matraz + Agua + muestra (Gr):	1751.5	1751.5	Promedio																																								
Gravedad Especifica (OD) :	2.576	2.576	2.58																																								
Gravedad Especifica (SSD) :	2.618	2.618	2.62																																								
Gravedad Especifica Aparente :	2.689	2.689	2.69																																								
% de Absorción de AF:	1.63%	1.63%	1.63%																																								
<p style="text-align: center;"> Toma de Decisión: Ensayo Aceptado <input checked="" type="checkbox"/> Ensayo Rechazado <input type="checkbox"/> </p>																																											
OBSERVACIONES: _____ _____ _____ _____																																											

Ilustración 82. Reporte de laboratorio de peso específico y absorción a la arena.

Fuente: (Figuroa, 2024).

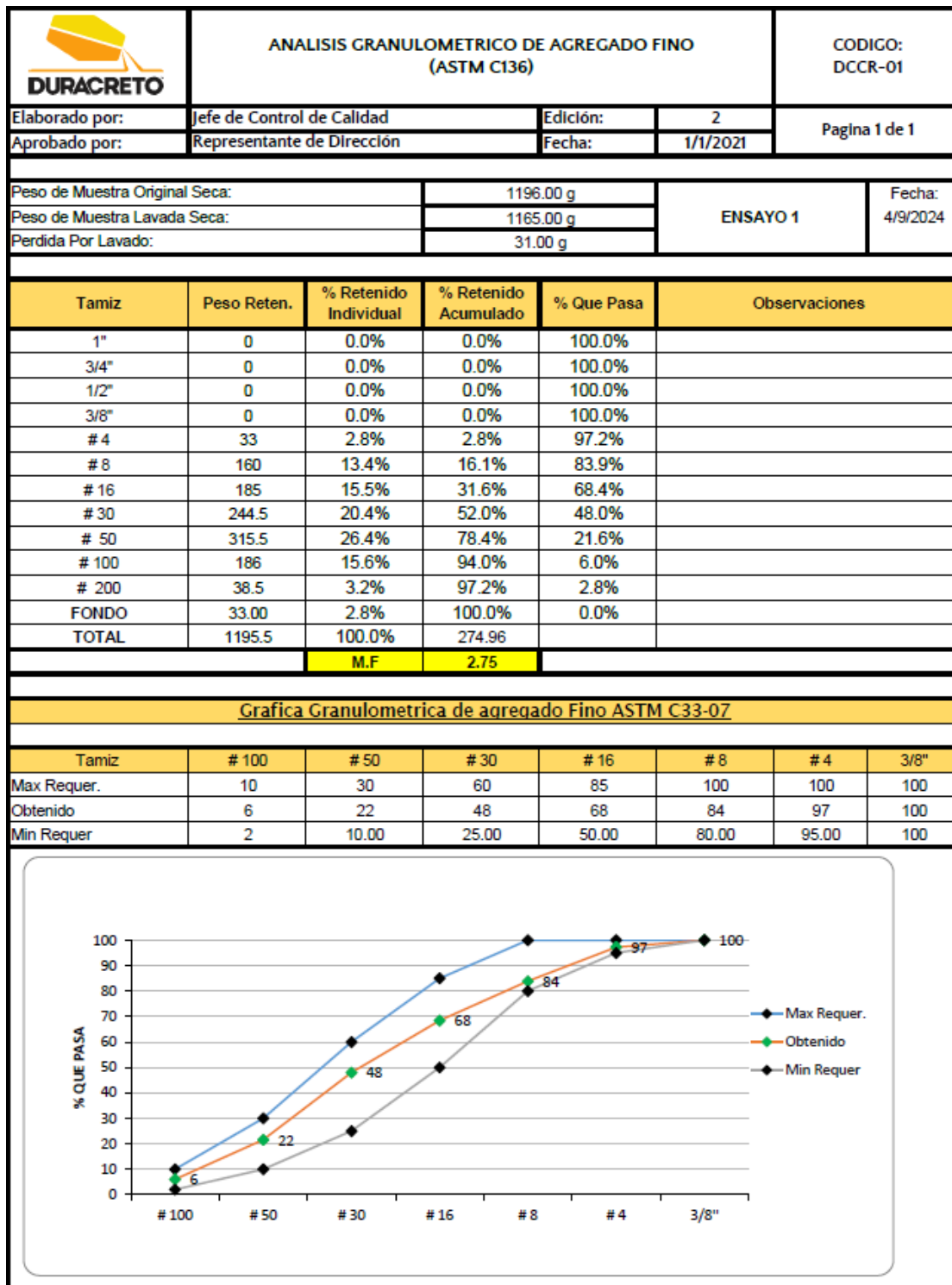


Ilustración 83. Reporte de laboratorio de granulometría a la arena.

Fuente: (Figuroa, 2024).

LABORATORISTA D-s U. Fecha: 7-9-24 Hora: 5:40 Am

Tipo de material	ARENA	3/4	3/8			
Peso tara+muestra húmeda	810	695	720			
Peso tara+muestra seca	774	638	704			
Peso de agua contenida	36	12	16			
Peso de tara	109	108	119			
Peso de muestra seca	605	575	585			
% humedad	5.41%	2.08%	2.73			

LABORATORISTA Brayan Flores Fecha: _____ Hora: _____

Ilustración 84. Reporte de laboratorio de contenido de humedad a la grava 3/4" y arena.

Fuente: (Figueroa, 2024).

FICHA

TÉCNICA



Cemento Tipo I

NORMA
ASTM C-150



PRESENTACIÓN



- Bolsa: 42.5 kg
- Granel

DEFINICIÓN

Cumple con los requisitos de la norma ASTM C-150. Se compone de clinker, caliza y yeso. Es un Cemento Portland se utiliza para la construcción especializada de obras que tienen un compromiso estructural.

Beneficios



Reduce costos al optimizar las mezclas de concreto.



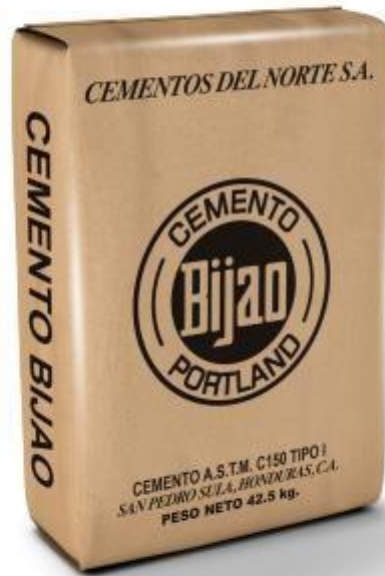
Mejor rendimiento en mezclas de concreto.



Maximiza el avance de obra por su rápido secado y altas resistencias tempranas, concretos uniformes homogéneos, en sus componentes químicos y físicos.



Mayor seguridad en las obras.



Manejo de sacos



Almacene los sacos en un lugar cerrado, limpio y libre de humedad.



Almacénelos de tal forma que los primeros sacos que entran sean los primeros que salgan del almacén.



Evite colocarlos en superficies dispares que puedan romperlos.



Maneje con cuidado los sacos al momento de moverlos, transportarlos y protéjalos de objetos que puedan causar su rotura (varillas, clavos, puntas de maderas, etc.).



No los coloque directamente sobre el piso, utilice una tarima o algo similar.



Evite que los sacos se mojen.

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

Especificaciones mecánicas	Método de prueba	Parámetro ASTM PSI (MPA)	Resultados Bijao PSI (MPA)	Desviación standard PSI (MPA)
Resistencia a compresión a 3 días	ASTM C-109	1,740 (12)	4,932 (34)	264 (1.8)
Resistencia a compresión a 7 días	ASTM C-109	2,755 (19)	5,791 (40)	266 (1.8)
Resistencia a compresión a 28 días	ASTM C-109	4,060 (28)	6,962 (48)	398 (2.7)

Ilustración 85. Ficha técnica cemento Bijao tipo I.

Fuente: (Cenosa, 2020).




CEMENTO GRIS BIJAO AL CONTADO (BOLSA VERDE) 42.5KG

★★★★★

L196.96 No incluye ISV

Es de uso general y se usa para diferentes tipos de construcciones como viviendas, repellos de pared, pegados de bloques, pavimentos y pisos entre otros.



Availability: 2459 in stock
SKU: C0400169
Category: MATERIALES DE CONSTRUCCION
Tag: - Precios sujetos a cambios.

< >

− 1 +

🛒
ADD TO CART

Ilustración 86. Cotización de cemento bijao

LABORATORIOS FARSIMAN

Agua Destilada Galon

Código: 0010-0022

Solo comprar esta vez

Suscríbete y Gana Suscríbete y gana más puntos

Obtén 50% más Puntos Simán al activar Suscríbete y gana más puntos para este producto

Entrega cada: 0 días >

[Conoce más](#)

Ingrediente	Cantidad
AGUA DESTILADA	100.00 %

L 285.21

Con tu tarjeta de crédito Simán BanPais recibes un cash back de L 28.52

Tengo la receta para aplicar al descuento de adulto mayor de:

Tercera Edad

Cuarta Edad

L 185.39

Precio de Adulto Mayor

Precio con Descuento Adicional por Miércoles de Tercera Edad

Ilustración 87. Cotización de hidróxido de sodio