

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL

**ESTUDIO DEL HORMIGÓN CON FIBRAS NATURALES DE ABACÁ
COMO COMPONENTE EN LA DOSIFICACIÓN, CON
TRATAMIENTO QUÍMICO**

**ESTUDIO DEL HORMIGÓN CON FIBRAS NATURALES DE ABACÁ
AL 1% COMO COMPONENTE EN LA DOSIFICACIÓN, CON
TRATAMIENTO QUÍMICO NaOH**

**TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR PRESENTADO COMO
REQUISITO PARA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL**

DIANA JAZMIN NAVARRETE MORETA

diana.navarrete01@epn.edu.ec

DIRECTOR: NICOLAY BERNARDO YANCHAPANTA GÓMEZ

nicolay.yanchapanta@epn.edu.ec

Distrito Metropolitano de Quito, febrero 2024

CERTIFICACIONES

Yo, Diana Jazmín Navarrete Moreta declaro que el trabajo de integración curricular aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

DIANA JAZMIN NAVARRETE MORETA

Certifico que el presente trabajo de integración curricular fue desarrollado por Diana Jazmín Navarrete Moreta, bajo mi supervisión.

NICOLAY BERNARDO YANCHAPANTA GÓMEZ
DIRECTOR

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

A través de la presente declaración, afirmo que el trabajo de integración curricular aquí descrito, así como el (los) producto(s) resultante(s) del mismo, son públicos y estarán a disposición de la comunidad a través del repositorio institucional de la Escuela Politécnica Nacional; sin embargo, la titularidad de los derechos patrimoniales nos corresponde a los autores que hemos contribuido en el desarrollo del presente trabajo; observando para el efecto las disposiciones establecidas por el órgano competente en propiedad intelectual, la normativa interna y demás normas.

Diana Jazmín Navarrete Moreta

Nicolay Bernardo Yanchapanta Gómez

DEDICATORIA

A mi hija Julieth, que ha sido el motivo de inspiración y me ha dado las razones para superarme.

A mi amigo Álvaro, que me acompañó durante toda la formación, por ser esa persona presente en las buenas y malas.

AGRADECIMIENTO

A la EPN, y sus docentes que fueron parte de toda mi formación académica, por brindarme el conocimiento para llegar hasta aquí.

A mi tutor, Nicolay, por el cariño con el que nos acompañó durante esta etapa final, y la paciencia que nos supo guiar.

CONTENIDO

CERTIFICACIONES	I
DECLARACIÓN DE AUTORÍA	II
DEDICATORIA	III
AGRADECIMIENTO	IV
CONTENIDO	V
INDICE DE TABLAS	VIII
INDICE DE FIGURAS	IX
RESUMEN	X
ABSTRACT	XI
CAPITULO I	1
INTRODUCCIÓN	1
1.1. ANTECEDENTES	1
1.2. OBJETIVOS	1
1.2.1. OBJETIVO GENERAL	1
1.2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	1
1.3. JUSTIFICACIÓN	2
1.3.1. JUSTIFICACIÓN TEÓRICA	2
1.3.2. JUSTIFICACIÓN METODOLÓGICA	2
CAPITULO II	6
MARCO TEÓRICO	6
2.1. EL HORMIGÓN Y SU HISTORIA	6
2.2. FIBRAS NATURALES EN EL HORMIGÓN	7
2.2.1. CLASIFICACION DE FIBRAS NATURALES	7
2.2.2. COMPOSICION DE FIBRAS NATURALES DE ORIGEN VEGETAL	8
2.3. HORMIGÓN SIMPLE	9
2.3.1. COMPONENTES DEL HORMIGON SIMPLE	9
2.3.2. PATOLOGIAS DEL HORMIGON SIMPLE	10
CAPITULO III	12
METODOLOGIA	12
3.1. ENSAYOS A LOS AGREGADOS FINOS	12
3.1.1. GRANULOMETRÍA DEL AGREGADO FINO	13
3.1.2. DENSIDAD RELATIVA Y APARENTE DEL AGREGADO FINO	14

3.1.3.	CONTENIDO ORGANICO DEL AGREGADO FINO.....	17
3.2.	ENSAYOS A LOS AGREGADOS GRUESOS.....	17
3.2.1.	GRANULOMETRÍA DEL AGREGADO GRUESO	18
3.2.2.	DENSIDAD RELATIVA Y APARENTE DEL AGREGADO GRUESO	19
3.3.	ENSAYOS A LA FIBRA NATURAL DE ABACA.....	21
3.3.1.	CONTENIDO DE HUMEDAD DE LA FIBRA DE ABACA	22
3.3.2.	TRATAMIENTO QUIMICO A LA FIBRA DE ABACA.....	23
3.3.3.	ABSORCION DE LA FIBRA DE ABACA	25
3.3.4.	RESISTENCIA, ELONGACION DE ROTURA Y TENACIDAD	26
3.4.	DOSIFICACION.....	29
3.4.1.	ASENTAMIENTO	29
3.4.2.	TAMAÑO MAXIMO NOMINAL DEL AGREGADO GRUESO	29
3.4.3.	AGUA NECESARIA	30
3.4.4.	RELACION AGUA-CEMENTO	30
3.4.5.	VOLUMEN DE AGREGADO GRUESO	30
3.4.6.	CORRECCION POR HUMEDAD	31
3.4.7.	ESTIMACION DE CANTIDADES DE MATERIAL.....	31
3.5.	ELABORACION DE PROBETAS.....	32
3.5.1.	HORMIGON SIN ADICION DE FIBRA DE ABACA.....	32
3.5.2.	HORMIGON CON ADICION DE FIBRA DE ABACA.....	33
3.5.3.	ELABORACION DE PROBETAS	34
3.6.	ENSAYO DE PROBETAS	38
3.6.1.	ENSAYO A PROBETAS TIPO CILINDRO	38
3.6.2.	ENSAYO A PROBETAS TIPO VIGA.....	40
3.6.3.	ENSAYO A PROBETAS TIPO PLACA.....	42
<i>CAPITULO IV.....</i>		<i>44</i>
<i>RESULTADOS.....</i>		<i>44</i>
4.1.	FIBRAS DE ABACA	44
4.1.1.	PROPIEDADES MECANICAS.....	44
4.1.2.	PROPIEDADES FISICAS	46
4.2.	PROBETAS DE HORMIGON	46
4.2.1.	PROBETAS TIPO CILINDRO.....	46
4.2.2.	PROBETAS TIPO VIGA	47
4.2.3.	PROBETAS TIPO LOSA	49
<i>CONCLUSIONES</i>		<i>51</i>
<i>RECOMENDACIONES.....</i>		<i>52</i>

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....	53
ANEXOS.....	55
ANEXO I. Masas requeridas para ensayos de agregado fino	55
ANEXO II. Masas requeridas para ensayos de agregado grueso	55
ANEXO III. Asentamientos de acuerdo al tipo de construcción.....	55
ANEXO IV. Cantidad teórica de agua	56
ANEXO V. Relación agua - cemento.....	56
ANEXO VI. Resultados de Gravedad específica y absorción de agregados, elaborado por LEMSUR.....	57
ANEXO VII. Resultado de análisis granulométrico del agregado grueso, elaborado por LEMSUR.....	58
ANEXO VIII. Resultado de análisis granulométrico al agregado fino, elaborado por LEMSUR.....	59
ANEXO IX. Resultados de flexión en vigas de hormigón, elaborado por LEMSUR.....	60
ANEXO X. Resultados de densidad aparente de agregado fino y grueso, elaborado por LEMSUR.....	61
ANEXO XI. Resultados de contenido orgánico del agregado fino, elaborado por LEMSUR.....	62
ANEXO XII. Resultados de compresión de cilindros de hormigón con adición de fibras de abacá, elaborado por LEMSUR.....	63
ANEXO XIII. Resultados de compresión de cilindros de hormigón sin adición de fibras de abacá, elaborado por LEMSUR.....	64
ANEXO XIV. Registro fotográfico de probetas tipo losa de hormigón con adición de fibras de abacá al 1%	65

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Resumen de muestras a fabricarse.....	4
Tabla 2. Fibras naturales de origen vegetal y su composición.....	9
Tabla 3. Tipos de cemento según INEN 152.....	9
Tabla 7. Tamaño máximo nominal.....	30
Tabla 10. Volumen de agregado grueso por m ³ de hormigón.....	30
Tabla 11. Resumen volúmenes para hormigón simple.....	33
Tabla 12. Resumen de materiales para hormigón simple.....	33
Tabla 13. Resumen de materiales para hormigón con fibra de abacá.....	33
Tabla 14. Propiedades mecánicas de la fibra de abacá sin tratamiento.....	44
Tabla 15. Propiedades mecánicas de la fibra de abacá con tratamiento.....	45
Tabla 16. Datos característicos de cilindros de hormigón con y sin fibras de abacá....	46
Tabla 17. Resistencia a la compresión de cilindros de hormigón con y sin fibra de abacá	47
Tabla 18. Datos característicos de probetas tipo viga con y sin fibras de abacá.....	48
Tabla 19. Resistencia a la flexión de vigas de hormigón con y sin fibra de abacá.....	48
Tabla 20. Longitud de grietas en probetas tipo placa.....	50

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Opus Caementicium.....	6
Figura 2. Fibras naturales y su clasificación	8
Figura 3. Composición de las fibras naturales de origen vegetal	8
Figura 4. Agrietamiento en placa de hormigón.....	11
Figura 5. Material fino en horno para secado	12
Figura 6. Tamaño de la muestra material fino	14
Figura 7. Extracción de aire al agregado fino	15
Figura 8. Preparación de material grueso	18
Figura 9. Tanque de agua para agregado grueso	20
Figura 10. Preparación muestras de abacá.....	23
Figura 11. Absorción de la fibra de abacá.....	26
Figura 12. Balanza encapsulada.....	28
Figura 13. Probetas cilíndricas con hormigón.....	35
Figura 14. Probetas de hormigón desencofradas	35
Figura 15. Curado de probetas.....	36
Figura 16. Encofrado de madera para probetas tipo placa.....	38
Figura 17. Máquina de ensayo de cargas	39
Figura 18. Tipos de falla en probetas cilíndricas.....	40
Figura 19. Diagrama representativo del ensayo a flexión con cargas aplicadas en tercios	41
Figura 20. Ensayo a flexión en viga con carga aplicada en los tercios	42
Figura 21. Cámara de aire caliente para evaluación de losas de hormigón.....	43
Figura 22. Gráfico comparativo resistencia a la compresión.....	47
Figura 23. Gráfico comparativo resistencia a la flexión.....	49
Figura 24. Registro de temperatura vs tiempo	49
Figura 25. Registro de velocidad vs tiempo	50

RESUMEN

El presente estudio, se enfoca en investigar las fibras naturales de abacá tratadas con hidróxido de sodio (NaOH) como un componente en las mezclas de hormigón. Las fibras de abacá, derivadas de la planta nativa de Filipinas, presentan propiedades mecánicas notables que las hacen atractivas para la construcción sostenible.

El estudio se divide en una fase experimental y un análisis detallado de los resultados. Durante la fase experimental, se someten las fibras de abacá a un tratamiento con hidróxido de sodio, con el fin de incrementar su capacidad de unirse a la estructura del hormigón. Se preparan varias mezclas de hormigón que se someten a pruebas que evalúan las propiedades mecánicas y la trabajabilidad del concreto.

Se demuestra que la incorporación de fibras de abacá tratadas con NaOH incrementa de manera notable las características del concreto, especialmente su comportamiento sometido a tracción y flexión. Este aumento se atribuye a una mejor unión entre las fibras tratadas y la matriz de hormigón.

En resumen, esta investigación demuestra que la inclusión de fibras naturales de abacá tratadas con NaOH en las mezclas de hormigón es una estrategia viable para mejorar sus propiedades mecánicas. Estos hallazgos contribuyen al avance de la construcción sostenible al aprovechar un recurso natural renovable y al mismo tiempo mejoran el rendimiento del hormigón.

ABSTRACT

The present study focuses on investigating abaca natural fibers treated with sodium hydroxide (NaOH) as a component in concrete mixes. Abaca fibers, derived from the native plant in the Philippines, exhibit notable mechanical properties that make them attractive for sustainable construction.

The study is divided into an experimental phase and a detailed analysis of the results. During the experimental phase, abaca fibers undergo treatment with sodium hydroxide to enhance their ability to bond with the concrete structure. Various concrete mixes are prepared and subjected to tests evaluating compressive strength, flexural strength, and workability.

The results demonstrate that the incorporation of abaca fibers treated with NaOH significantly enhances the mechanical characteristics of concrete, especially its tensile and flexural strength. This improvement is attributed to a better bond between the treated fibers and the concrete matrix.

In summary, this research shows that including abaca natural fibers treated with NaOH in concrete mixes is a viable strategy to enhance their mechanical properties. These findings contribute to the advancement of sustainable construction by utilizing a renewable natural resource while simultaneously improving concrete performance.

CAPITULO I

INTRODUCCIÓN

1.1. ANTECEDENTES

El concreto, un componente esencial en la construcción moderna ha experimentado una evolución constante en busca de mejoras en sus propiedades mecánicas y durabilidad. Dentro de este marco, el presente trabajo investigativo busca evaluar el uso de fibras naturales de abacá, a una concentración del 1%, y su tratamiento químico con NaOH como componente en la dosificación. Esta investigación surge como respuesta a la necesidad de desarrollar materiales de construcción más sostenibles, eficientes y resistentes, para reducir el impacto ambiental prolongar la vida útil de las estructuras (Paricaguán & Muñoz, 2019)

Históricamente, la incorporación de fibras evidencia la efectividad en el mejoramiento de propiedades mecánicas del concreto, así como la reducción en la formación de grietas (Miranda & Rado, 2019). Las fibras naturales, en particular las provenientes del abacá, se han destacado como una opción atractiva debido a su abundancia, bajo costo y biodegradabilidad. Por otro lado, el tratamiento químico de fibras con NaOH altera las propiedades físicas y su interacción con el concreto, mejorando así el rendimiento del material compuesto.

1.2. OBJETIVOS

1.2.1.OBJETIVO GENERAL

Evaluar el concreto mejorado con abacá al 1%, tratadas químicamente con NaOH, con el fin de valorar su viabilidad como alternativa sostenible y resistente en aplicaciones de construcción, conociendo la incidencia del abacá en las propiedades del hormigón.

1.2.2.OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Valorar el comportamiento mecánico del concreto reforzado con abacá al 1% tratadas con NaOH al 4% de concentración.
- Evaluar mediante registro fotográfico el desarrollo de fisuras en probetas tipo placa con un espesor de 2,5 cm.
- Desarrollar una dosificación de hormigón que experimentalmente, cumpla con las resistencias de hormigón comerciales.

1.3. JUSTIFICACIÓN

1.3.1. JUSTIFICACIÓN TEÓRICA

El análisis del hormigón con fibras naturales de abacá al 1%, con tratamiento químico NaOH como componente en la dosificación, se fundamenta en la creciente necesidad de encontrar soluciones sostenibles en la construcción. La construcción tradicional tiene un alto costo ambiental debido a la emisión de gases en el proceso de producción de cemento y extracción de agregados. En este contexto, las fibras naturales se han destacado como una alternativa ecológica y prometedora para mejorar las propiedades del hormigón (Martín, 2020).

Investigaciones previas respaldan la utilización de fibras naturales en el hormigón como un enfoque válido para aumentar su durabilidad y resistencia a la fisuración. Un estudio de Caizaguano & Terán (2020) demostró que el uso de fibras mejoró significativamente el comportamiento mecánico del hormigón ante sollicitaciones de tracción y compresión. Además, se destaca la importancia del tratamiento químico con NaOH para aumentar la adherencia entre las fibras y el hormigón, contribuyendo al comportamiento mecánico del material compuesto.

Este trabajo de investigación busca expandir esta base de conocimiento y explorar la viabilidad de la combinación de fibras de abacá al 1% y tratamiento químico NaOH al 4% de concentración en la dosificación del hormigón.

1.3.2. JUSTIFICACIÓN METODOLÓGICA

Se ha observado un creciente interés en la aplicación del hormigón reforzado con fibras sintéticas en diversas aplicaciones como losas, puentes, túneles y pavimentos. Sin embargo, la sustentabilidad de este tipo de fibras ha generado la inclinación a la aplicación de fibras naturales de mayor disponibilidad, como lo es las fibras de abacá. Se plantea entonces, el uso de fibras de abacá en diversas secciones, como vigas, cilindros y placas, para analizar su impacto en el desarrollo de fisuras y la alteración en las propiedades del hormigón.

La fibra de abacá, al ser de origen vegetal, necesita pasar por un proceso para evitar su descomposición e incrementar su adherencia a la matriz de hormigón, como destacan en su investigación Alcívar & Durán (2023). Este tratamiento le proporciona rugosidad a la fibra, mejorando la incorporación a la mezcla de hormigón, como se menciona en el trabajo de Paricaguán & Muñoz (2019). En las muestras de prueba, se debe seguir el protocolo de dosificación estandarizado para lograr una resistencia objetivo de aproximadamente 210 kgf/cm². Posteriormente, se introducirán las fibras de abacá, después de su tratamiento químico, según los porcentajes requeridos.

1.3.2.1. Numero de probetas

Se utilizaron herramientas estadísticas para determinar la cantidad de muestras que deben ser fabricadas. Estas muestras deben generar un conjunto de datos sólidos que validen los resultados del proyecto como se sugiere en la investigación de García-García (2013).

A fin de hallar el número de muestras se utiliza la regla empírica establecida por Peter Westfall y Kevin Henning, de donde despejando la variable correspondiente a la cantidad de muestras se obtiene la expresión dada por la Ecuación 1.

$$n = \frac{Z^2 * p * (1 - p)}{c^2}$$

Ecuación 1. Regla empírica Peter Westfall & Kevin Henning

Donde:

Z: nivel de confianza adoptado y extraído de la distribución normal

n: tamaño de la muestra

p: variabilidad en función de la muestra

c: margen de error asumido

El nivel de confianza es la posibilidad de que la media de los resultados obtenidos esté dentro del intervalo de confianza. Siendo así, se considera un nivel de confianza aceptable un 90% o superior. Se asume entonces un nivel de confianza del 90% para garantizar la confiabilidad de los resultados alcanzados.

Se tiene entonces que, la cantidad de muestras necesarias para el desarrollo del presente proyecto es:

$$n = \frac{0,90^2 * 0,5 * (1 - 0,5)}{0,3^2} = 2,3 \text{ muestras} = 3 \text{ muestras}$$

Es decir que, por cada variable a ser estudiada, se tendrán 3 muestras de las mismas características para conseguir evaluar los puntos de estudio del presente. El resumen de muestras a ser fabricadas se define en la Tabla 1.

Tabla 1. Cantidad de muestras a fabricarse

Elemento	Porcentaje de fibra	Edad (días)			Numero de muestras
		7 días	14 días	28 días	
Cilindros	0,00%	1	1	1	3
	1,00%	3	0	3	6
Placas	0,00%	3			3
	1,00%	6			6
Vigas	0,00%	1	1	1	3
	1,00%	3	0	3	6

Elaborado por: Diana Navarrete

El hormigón a emplearse será hormigón simple, compuesto por cemento tipo portland, arena y agregado grueso tipo chispa, por la dimensión de los elementos a fabricarse. Se reemplazará un volumen del agregado grueso por fibra natural, con la cual se debe considerar que, debido a su naturaleza se trata la fibra con hidróxido de sodio para mejorar la unión al hormigón.

Los cilindros se ensayan a compresión, tomando sus propiedades físicas, que son dimensiones con una precisión de 1 mm, y la masa. Mientras que las vigas se ensayan a flexión, generando una curva de esfuerzo deformación.

Por otra parte, las placas de hormigón son evaluadas visualmente, para verificar el agrietamiento.

CAPITULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. EL HORMIGÓN Y SU HISTORIA

El concreto en algunas regiones, constituye un componente importante para el desarrollo de las sociedades. Su capacidad para resistir cargas, su durabilidad y su versatilidad lo han convertido en un elemento esencial en la construcción (Jaimes et al., 2020). Este marco teórico explorará la evolución histórica del hormigón, desde su inicio en las civilizaciones antiguas hasta su situación presente de investigación y desarrollo.

- **Civilizaciones antiguas**

El hormigón tiene sus raíces en civilizaciones antiguas. Los egipcios y los babilonios utilizaron mezclas de cal, arcilla y piedra para construir estructuras duraderas. Las pirámides egipcias son un ejemplo temprano de la aplicación del hormigón en la construcción. Los romanos fueron pioneros en el desarrollo del hormigón. Utilizaron una mezcla de ceniza volcánica, cal y piedra, conocida como "opus caementicium", en la construcción de monumentos duraderos como el Coliseo y el Panteón. Tras la caída del Imperio Romano, los usos del hormigón disminuyeron en Europa occidental durante la Edad Media. Sin embargo, resurgió con la construcción de catedrales góticas, donde se utilizó una forma primitiva de hormigón (Nistal et al., 2012).



Figura 1. *Opus Caementicium*

Fuente: Cartwright, 2016

- **Avances en el siglo XX y XXI**

El siglo XX trajo avances significativos en la tecnología del hormigón, incluida la invención del hormigón armado y el desarrollo de técnicas de pretensado y postensado. Estos

avances permitieron la construcción de estructuras de gran envergadura. En las últimas décadas, ha habido un enfoque creciente en la sostenibilidad del hormigón. Las investigaciones recientes tienen como objetivo el buscar la disminuir la emisión de carbono en la industria constructiva mediante la incorporación de materiales reciclados y cementos de bajo impacto ambiental (Reynolds & Steedman, 2007).

2.2. FIBRAS NATURALES EN EL HORMIGÓN

La incorporación de fibras en el hormigón toma importancia por sus beneficios en la mejora del comportamiento mecánico, y la sostenibilidad del concreto. Este material, además de reforzar el hormigón, reduce la formación de grietas, mejorando su durabilidad y rendimiento (Olivera et al., 2021).

El uso de fibras naturales en hormigón proporciona un refuerzo adicional al mejorar sus propiedades mecánicas. Este agregado puede aumentar la resistencia a la tracción y la flexión del hormigón, lo que resulta en una mayor capacidad de carga y una mejor absorción de energía como se menciona en el estudio de Banthia & Gupta (2006). Así mismo, el uso de fibras naturales en matrices de hormigón ayuda a controlar la fisuración del concreto, especialmente en el proceso de secado y endurecimiento. Esto reduce la formación de grietas y mejora la durabilidad del hormigón, beneficioso en ambientes agresivos.

2.2.1. CLASIFICACION DE FIBRAS NATURALES

Las fibras naturales, por su origen, pueden clasificarse en 3 grupos, donde se tendrán origen animal, vegetal y mineral. Las fibras vegetales se utilizan en la construcción por su disponibilidad, renovabilidad y biodegradabilidad. Incluyen fibras de celulosa provenientes de fuentes como madera, paja y bagazo. La celulosa, el componente principal de estas fibras, son las encargadas de proporcionar propiedades mecánicas mejoradas al hormigón (Martín, 2020).

Las fibras de origen animal también han sido objeto de interés en la industria del hormigón. Las plumas de aves, son eficaces en la reducción de grietas por contracción plástica en un 70% además de tener un bajo costo para la obtención y tratamiento (Díaz, 2016).

En las fibras naturales de origen mineral, destaca el uso del asbesto, aunque ha disminuido por preocupaciones de salud (Agencia de Protección ambiental de Estados Unidos, n.d.).

ORIGEN	PROCEDENCIA	EJEMPLOS
ANIMAL	Procedente de glándulas sedosas	Seda
	Procedente de folículos pilosos	Pelo
FIBRAS NATURALES VEGETAL	Procedente de la semilla	Algodón
	Procedente del tallo	Lino, Cáñamo, Yute, Caña de azúcar
	Procedente de la hoja	Sisal
	Procedente del fruto	Coco
MINERAL		Fibra de vidrio, fibra de carbono.

Figura 2. Fibras naturales y su clasificación

FUENTE: Martín, 2020

2.2.2. COMPOSICION DE FIBRAS NATURALES DE ORIGEN VEGETAL

Los elementos fundamentales que se logran identificar al analizar una fibra natural incluyen la celulosa, la lignina y la hemicelulosa. Los porcentajes relativos de estos componentes varían según el tipo de fibra. Por consiguiente, la elección de un tipo específico de fibra es crucial, ya que dichas características influyen en la absorción de humedad del material y, en algunos casos, en su resistencia mecánica (Martín, 2020).

La fuerza mecánica de una fibra vegetal está determinada por el contenido de celulosa, mientras que la lignina actúa como un escudo protector frente a las condiciones ambientales. El análisis del porcentaje de composición de las fibras es esencial para evaluar los resultados y determinar cómo afecta a las propiedades que pueden ofrecer (Fenollar, 2015).

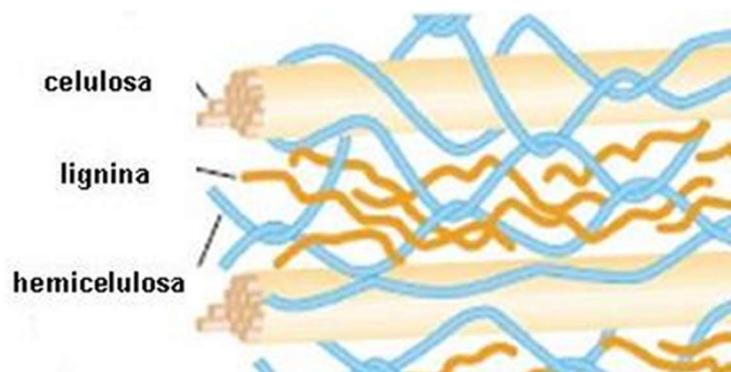


Figura 3. Estructura de las fibras naturales vegetales

FUENTE: Martín, 2020

En la tabla 2 se muestran las partes componentes de diversas fibras, encabezando la información, el abacá, fuente de este estudio.

Tabla 2. Fibras naturales de origen vegetal y su composición

Fibra	Celulosa (%)	Hemicelulosa (%)	Lignina (%)	Humedad (%)
Abacá	63-70,1	20-21,8	5,7-6	5-10
Coco	32-43	0,15-0,25	40-45	8
Bambú	35-60,8	15	27-32,2	
Banana	63-64	10	5	10-12
Yute	61-71,5	13,6-20,4	8,1-13	12,5-13,7

FUENTE: Páez, 2007

2.3. HORMIGÓN SIMPLE

El hormigón simple, llamado concreto sin refuerzo, es una mezcla fundamental de materiales muy utilizada. Consiste en tres elementos principales: cemento, agregados y agua.

2.3.1. COMPONENTES DEL HORMIGON SIMPLE

- Cemento

El cemento actúa como el aglutinante que une todos los materiales. El cemento se produce a partir de la mezcla de caliza, arcilla y otros materiales crudos y es conocido por fraguar y endurecer con agua. Según la *NTE INEN 152 (2010) Cemento Portland. Requisitos*, se tiene la clasificación para el cemento portland indicada en la tabla 3:

Tabla 3. Tipos de cemento según INEN 152

TIPO DE CEMENTO	CARACTERISTICA
Tipo I	Uso general
Tipo IA	Con incorporador de aire, del mismo uso que el tipo I
Tipo II	Calor de hidratación moderado y resistencia moderada a los sulfatos
Tipo IIA	Con incorporador de aire, del mismo uso que el tipo II

Tipo III	Alta resistencia inicial
Tipo IIIA	Con incorporador de aire, del mismo uso que el tipo III
Tipo IV	Bajo calor de hidratación
Tipo V	Alta resistencia a los sulfatos

Elaborado por: Adaptado de NTE INEN 152 (2010)

- Agua

El agua activa la reacción química, conocida como hidratación, que conduce al endurecimiento del hormigón. La cantidad y la calidad del agua son críticas para la resistencia y la durabilidad del hormigón. Se debe utilizar la proporción correcta para asegurar la adecuada hidratación del cemento sin que el hormigón se vuelva demasiado líquido. El agua utilizada debe ser de calidad potable, no debe contener sustancias que puedan dañar la mezcla de hormigón. Esto incluye evitar la presencia de elementos como aceites, compuestos orgánicos, ácidos, alcalinos, entre otros, como se detalla en la Norma *NTE INEN 1108 (2020)*.

- Agregados

Los agregados son elementos granulares que se combinan con el cemento para constituir la matriz del concreto, estos son de dos tipos: los agregados finos y agregados gruesos. Los agregados proporcionan estabilidad estructural y ayudan a reducir la proporción de cemento requerida, lo que hace que el concreto sea más económico. Los ensayos a realizarse a los agregados se detallan en la norma *NTE INEN 872 (2011) Áridos para hormigón. Requisitos*.

2.3.2. PATOLOGIAS DEL HORMIGON SIMPLE

El hormigón simple está propenso a diversas patologías, siendo las grietas y fisuras uno de los problemas destacados, con múltiples causas posibles. Este estudio se centra en las grietas y fisuras ocasionadas por la contracción plástica, las cuales surgen antes de que el concreto alcance su fraguado final. Las fisuras generadas a causa de la contracción plástica presentan considerables profundidades además de que no tienen un patrón de formación (Toirac, 2004).

- a) **Agrietamientos originados por retracción plástica**

La generación de este tipo de agrietamiento, se da porque la tasa de evaporación desde la superficie excede la tasa a la que el agua puede fluir desde el interior hacia la superficie. Esto provoca la retracción en la superficie y, como consecuencia, la formación de fisuras (National Ready Mixed Concrete Association, n.d.).

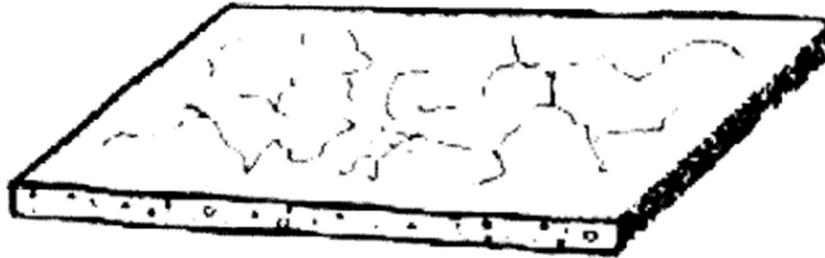


Figura 4. Agrietamiento en placa de hormigón

FUENTE: Toirac, 2004

Las fisuras por contracción plástica tienen la capacidad, en algunas instancias, de atravesar la totalidad del espesor de la losa. En general, esto carece de riesgo estructural, y no compromete la capacidad del elemento (Toirac, 2004).

CAPITULO III

METODOLOGIA

De acuerdo a los lineamientos establecidos en la Sociedad Estadounidense para Ensayos de Materiales (ASTM), se debe tomar una cantidad de muestra, para cada uno de las pruebas, en función del tamaño máximo nominal del agregado, cantidades que se detallan en la Anexo I y Anexo II.

3.1. ENSAYOS A LOS AGREGADOS FINOS

Inicialmente se realiza el proceso de muestreo para la realización de ensayos, esto es, el secado del material, para lo cual se siguen los pasos descritos:

1. Colocar un saco de agregado fino en la bandeja para secado y esparcir el material por la bandeja procurando no ejercer presión sobre el material.
2. Introducir la bandeja en el horno a 110 ± 5 °C.
3. Dejar secar el material por un lapso de 24 horas.
4. Retirar la bandeja y colocar a temperatura ambiente para su enfriamiento, por un periodo de al menos 24 horas.
5. Mezclar el material completamente y tomar una muestra correspondiente a las directrices dadas por la ASTM.



Figura 5. Material fino en horno para secado

Fuente: Diana Navarrete

3.1.1. GRANULOMETRÍA DEL AGREGADO FINO

Este ensayo busca obtener la composición de tamaños de las partículas que integran el material, expresado en porcentajes retenidos en cada uno de las mallas. La importancia de una correcta granulometría radica en su afectación a la resistencia del hormigón. Para la realización de la granulometría del material, se siguen los lineamientos estipulados en la normativa ASTM C136, mismo que se detalla a continuación:

- Equipos:

- Balanza: deberá tener una lectura de 0,1 g, y una precisión de 0,1 gramos.
- Tamices: deberán estar colocados para impedir la pérdida de material durante el tamizado, las mallas tamizadoras han de ser colocadas desde tamiz N° 4 hasta el tamiz N° 200.
- Bandeja colectora: deberá estar colocada al final de los tamices para coleccionar lo que pasa por el tamiz N° 200.
- Tamizador mecánico: deberá agitar los tamices consiguiendo que las partículas reboten, se mezclen y muestren diferentes ubicaciones.
- Horno: apto para conservar una temperatura de 110 ± 5 °C.

- Procedimiento:

- Tomar una muestra correspondiente al establecido por la ASTM, previamente secado. **Figura 6.**
- Seleccionar y ensamblar las mallas de forma descendente, desde el tamiz N°4 hasta el N°200.
- Poner la muestra de agregado en el tamiz superior e ingresar al tamizador mecánico.
- El tamizado se puede dividir en dos o más porciones para evitar la sobrecarga de material.
- Transcurrido el tiempo de tamizado, tomar el peso retenido en cada una de las mallas, así como el material pasante del tamiz N° 200.



Figura 6. *Tamaño de la muestra material fino*

FUENTE: Diana Navarrete

a) Cálculo del módulo de finura

La obtención del módulo de finura es mediante la suma de los porcentajes retenido acumulado en cada malla, dividida por 100.

$$\text{Módulo de finura} = \frac{\sum_4^{200} \text{retenido acumulado}}{100}$$

Ecuación 2. *Módulo de finura para el agregado fino*

Donde:

\sum_4^{200} *retenido acumulado*: porcentaje ret. acumulado en el tamiz N°4 hasta el N° 200

3.1.2. DENSIDAD RELATIVA Y APARENTE DEL AGREGADO FINO

La norma ASTM C128 describe el procedimiento para la determinación de la gravedad específica y densidad aparente de una cantidad de partículas de agregado fino. La muestra de agregado fino ha de ser sumergida en agua por un periodo de 24 horas, retirado el exceso de agua transcurrido el tiempo, y secada la humedad superficial. El procedimiento para obtener la densidad relativa y aparente se detalla a continuación:

- Equipos:

- Balanza: deberá tener una capacidad de 1 kg o más, y una sensibilidad de 0,1 g y una precisión de 0,1%.

- Picnómetro: en el que la muestra de ensayo de agregado fino puede introducirse fácilmente y en el que el volumen de contenido pueda ser legible en $0,1 \text{ cm}^3$. Es adecuado un matraz de 500 cm^3 de capacidad.
- Molde y compactador para ensayo de humedad superficial: el molde debe tener una forma de un cono truncado con 40 mm de diámetro interno superior, 90 mm de diámetro interno en la base y 75 mm de altura, un espesor de 0,8 mm, mientras que el compactador debe tener una masa de 340 g y una cara compactadora circular y plana de 25 mm de diámetro.
- Horno: de tamaño suficiente, y capaz de mantener una temperatura uniforme de $110 \pm 5 \text{ }^\circ\text{C}$.

- **Procedimiento:**

- Llenar parcialmente el picnómetro de agua e introducir una masa de 500 gramos de agregado fino saturado superficialmente seco y llenar con agua adicional hasta completar el 90% de capacidad.
- Agitar el picnómetro mediante una vibración externa, para promover la eliminación de aire. Luego de eliminar las burbujas de aire ajustar la temperatura del picnómetro y su contenido a $23 \text{ }^\circ\text{C}$. **Figura 7.**
- Retirar el agregado fino del picnómetro, secarlo en el horno a una temperatura de $110 \pm 5 \text{ }^\circ\text{C}$, y enfriarlo a una temperatura ambiente por 1 hora y determinar su masa.



Figura 7. Extracción de aire al agregado fino

FUENTE: Diana Navarrete

a) Cálculo de la gravedad específica

La densidad relativa (gravedad específica) del árido en condición saturada superficialmente seca, se calcula con la expresión indicada en la Ecuación 3:

$$\text{Densidad relativa} = \frac{S}{B + S - C}$$

Ecuación 3. Densidad relativa agregado fino

Donde:

S: masa de muestra saturada superficialmente seca, g

B: masa del picnómetro lleno con agua, hasta la marca de calibración, g

C: masa del picnómetro lleno con muestra y agua hasta la marca de calibración, g

b) Cálculo de la densidad aparente

La densidad aparente del árido se calcula con la expresión indicada en la Ecuación 4:

$$\text{Densidad aparente, kg/m}^3 = \frac{997,5A}{A + B - C}$$

Ecuación 4. Densidad aparente agregado fino en kg/m³

Donde:

A: masa de la muestra seca al horno, g

B: masa del picnómetro lleno con agua, hasta la marca de calibración, g

C: masa del picnómetro lleno con muestra y agua hasta la marca de calibración, g

c) Cálculo de la absorción

La absorción del árido se calcula con la expresión indicada en la Ecuación 5:

$$\text{Absorción, \%} = \frac{(S - A)}{A} \times 100$$

Ecuación 5. Absorción del agregado fino

Donde:

S: masa de muestra saturada superficialmente seca, g

A: masa de la muestra seca al horno, g

3.1.3. CONTENIDO ORGANICO DEL AGREGADO FINO

La norma INEN 855 establece el método para determinar la cantidad de impurezas orgánicas presentes en el agregado fino para mortero y hormigón. El procedimiento se detalla a continuación:

- **Equipos:**

- Botellas de vidrio: deberán ser graduadas e incoloras, con una capacidad nominal de aproximadamente 240 cm³ a 470 cm³ equipadas con tapas herméticas. En ningún caso, la dimensión externa de las botellas, medida a lo largo de la línea de vista utilizada para la comparación del color, debe ser superior a 63,5 mm o menor a 38,1 mm. La graduación de las botellas debe estar en cm³

- **Procedimiento:**

- Verter una muestra de árido fino de 450 g en la botella de vidrio hasta aproximadamente el nivel equivalente al volumen de 130 cm³.
- Añadir la solución de hidróxido de sodio hasta que el volumen ocupado por el árido fino y el líquido, después de agitar, sea de aproximadamente 200 cm³.
- Tapar la botella, agitar vigorosamente y dejar reposar durante 24 h

3.2. ENSAYOS A LOS AGREGADOS GRUESOS

Inicialmente se realiza la preparación de las muestras para la realización de ensayos, esto es, el secado del material, para lo cual se siguen los pasos descritos:

1. Colocar un saco de agregado grueso en la bandeja para secado y esparcir el material por la bandeja procurando no ejercer presión sobre el material. **Figura 8.**
2. Introducir la bandeja con material en el horno a una temperatura de 110 ± 5 °C.
3. Dejar secar el material por un periodo de 24 horas
4. Retirar la bandeja del horno y colocar a temperatura ambiente para su enfriamiento, por un periodo de al menos 24 horas.

5. Mezclar el material completamente y tomar una muestra correspondiente a las directrices dadas por la ASTM.



Figura 8. Preparación de material grueso

FUENTE: Diana Navarrete

3.2.1. GRANULOMETRÍA DEL AGREGADO GRUESO

La granulometría de los agregados gruesos busca obtener la distribución de tamaños de las partículas que componen el material, esto expresado en porcentajes retenidos en cada uno de los tamices. Para la realización de la granulometría del material, se siguen los lineamientos estipulados en la normativa ASTM C136, mismo que se detalla a continuación:

- Equipos:

- Balanza: deberá tener una lectura de 0,5 g, y una precisión de 0.05% de la masa de ensayo.
- Tamices: deberán estar montados de manera que se evite la pérdida del material durante el tamizado, las mallas tamizadoras han de ser colocadas desde el tamaño 3/4" hasta la malla N° 8.
- Bandeja colectora: deberá estar colocada al final de los tamices para coleccionar el material que no es retenido por el tamiz N° 8.
- Tamizador mecánico: deberá mover los tamices de manera que las partículas salten, se revuelvan y presenten diferentes orientaciones con respecto a la superficie del tamiz.
- Horno: deberá tener el tamaño adecuado y capaz de mantener una temperatura uniforme de 110 ± 5 °C.

- **Procedimiento:**

- Tomar una muestra de tamaño correspondiente al establecido por la ASTM, previamente secado.
- Seleccionar y ensamblar los tamices en orden de tamaño decreciente, desde el tamaño 3/4" hasta N°8.
- Colocar la muestra de agregado en el tamiz superior e ingresar al tamizador mecánico.
- El tamizado se puede dividir en dos o más porciones para evitar la sobrecarga de material.
- Transcurrido el tiempo de tamizado, pesar la cantidad de material retenido en cada una de las mallas tamizadoras, así como la cantidad de material que pasa el tamiz N° 8.

3.2.2. DENSIDAD RELATIVA Y APARENTE DEL AGREGADO GRUESO

La norma ASTM C127 describe el procedimiento para la determinación de la gravedad específica y densidad aparente de una cantidad de partículas de agregado grueso. La muestra de agregado grueso ha de ser sumergida en agua por un periodo de 24 horas, retirado el exceso de agua transcurrido el tiempo, y secada la humedad superficial. El procedimiento para obtener la densidad relativa y aparente se detalla a continuación:

- **Equipos:**

- Balanza: deberá tener una sensibilidad de 0,5 g y una precisión de 0,05%.
- Recipiente para muestras: deberá ser una canasta de alta resistencia de 3,5 mm o un cubo de aproximadamente la misma anchura y altura, con una capacidad de 4 a 7 litros.
- Tanque de agua: será un tanque estanco en el que se coloca el recipiente de la muestra mientras está suspendido debajo de la balanza. **Figura 9.**
- Horno: de tamaño suficiente, y capaz de mantener una temperatura uniforme de 110 ± 5 °C.



Figura 9. *Tanque de agua para agregado grueso*

FUENTE: Diana Navarrete

- Procedimiento:

- Secar la muestra de prueba en el horno a masa constante a una temperatura de 110 ± 5 ° C, enfriar a temperatura ambiente de 1 a 3 h hasta que el agregado se haya enfriado a una temperatura que sea cómoda de manejar.
- Sumergir el agregado en agua a temperatura ambiente durante un período de 72 ± 4 h, agitando durante al menos un minuto cada 24 h.
- Retirar la muestra de prueba del agua y enrollarla en un paño absorbente hasta que se eliminen todas las películas de agua visibles.
- Determinar la masa de la muestra de prueba en la condición de superficie saturada y superficialmente seca.
- Colocar inmediatamente la muestra de prueba saturada y superficialmente seca en el recipiente de la muestra y determine su masa aparente en agua a 23 °C.
- Secar la muestra en el horno a una temperatura de 110 ± 5 °C, enfriar a temperatura ambiente de 1 a 3 h, o hasta que el agregado se haya enfriado a una temperatura que sea cómoda de manejar, y determinar la masa.

a) Cálculo de la gravedad específica

La densidad relativa (gravedad específica) del árido en condición saturada superficialmente seca, se calcula como se indica en la Ecuación 6:

$$\text{Densidad relativa} = \frac{B}{B - C}$$

Ecuación 6. Densidad relativa del agregado grueso

Donde:

B: Masa de la muestra saturada superficialmente seca, g

C: Masa aparente de la muestra de prueba saturada en agua, g

b) Cálculo de la densidad aparente

La densidad aparente del árido se calcula de la siguiente manera:

$$\text{Densidad aparente} = \frac{A}{A - C}$$

Ecuación 7. Densidad aparente del agregado grueso

Donde:

A: Masa de la muestra ensayada secada al horno, g

C: Masa aparente de la muestra de prueba saturada en agua, g

c) Cálculo de la absorción

La absorción del árido se calcula de la siguiente manera:

$$\text{Absorción, \%} = \frac{(B - A)}{A} \times 100$$

Ecuación 8. Absorción del agregado grueso

Donde:

A: Masa de la muestra ensayada secada al horno, g

B: Masa de la muestra saturada superficialmente seca, g

3.3. ENSAYOS A LA FIBRA NATURAL DE ABACA

La fibra de abacá puede ser un refuerzo eficaz para el hormigón, pero es fundamental realizar ensayos para entender sus propiedades y garantizar un rendimiento óptimo en varias condiciones de aplicación.

3.3.1. CONTENIDO DE HUMEDAD DE LA FIBRA DE ABACA

- Equipo

- Horno de convección: permiten el uso de calor a elevadas temperaturas de una manera progresiva
- Botella de pesaje
- Balanza: deberá tener una sensibilidad de 0,001 g.
- Regla
- Guantes resistentes a altas temperaturas: diseñados para resistir la exposición al calor al mismo tiempo que mantienen una destreza táctil superior

- Procedimiento

- Obtener aleatoriamente una muestra de fibra de abacá, de unos 30 gramos.
- Ubicar las fibras de abacá de manera uniforme sobre la superficie de corte de la guillotina. Aplicar presión con una regla, medir 2 centímetros y proceder al corte con el objetivo de asegurar longitudes consistentes en toda la muestra. Repetir este proceso hasta obtener un total de 20 gramos de fibra de 2 centímetros.
- Introducir la muestra en el recipiente de pesaje, sellarlo y registrar la masa, la cual se denominará como masa original.
- Ajustar y precalentar el horno de convección a una temperatura de $103^{\circ}\text{C} \pm 2$. Posicionar la parrilla divisoria a una altura equivalente a 1/3 del espacio interior del horno.
- Desenroscar la tapa de la botella de la muestra y ubicarla en el horno durante 24 horas. Después de este tiempo, utilizar guantes para retirar la botella del horno, volver a cerrarla y proceder a pesar la muestra.
- Volver a introducir la botella abierta en el horno y mantenerla allí durante 3 horas. Después de este período, si la masa no experimenta un cambio superior al doble de la sensibilidad de la balanza, es decir, 2 mg, se detiene el ensayo y se registra esta última masa como la masa seca al horno.



Figura 10. Preparación muestras de abacá

FUENTE: Diana Navarrete

a) Cálculo del contenido de humedad

El contenido de humedad de la fibra de abacá se determina con la siguiente ecuación:

$$\% \text{ humedad} = \frac{m_i - m_f}{m_f} \times 100$$

Ecuación 9. Contenido de humedad para la fibra de abacá

Donde:

m_i : Masa original de la fibra, g

m_f : Masa seca al horno, g

3.3.2. TRATAMIENTO QUIMICO A LA FIBRA DE ABACA

Para llevar a cabo el tratamiento químico con hidróxido de sodio, se prepara una solución al 4% de concentración mediante una relación en peso. El soluto utilizado es de concentración pura del lote A0423820, y el solvente empleado es agua destilada. Debido a la naturaleza corrosiva de este compuesto, se opta por utilizar recipientes y herramientas de vidrio o cerámica. En base a estas condiciones, la relación utilizada en la ecuación 10:

$$a = \frac{p * b}{100}$$

Ecuación 10. Gramos de solución

Donde:

a: cantidad de soluto, g

p: concentración de la solución, %

b: cantidad de solución, g

Conociendo que se emplearán 20 g de NaOH (soluto), se encuentra la cantidad de agua destilada (solución) con la expresión dada por la ecuación 10:

$$b = \frac{20 * 100}{4} = 500 \text{ g de solución (agua destilada)}$$

Las muestras que se sometieron al tratamiento químico se distribuyeron en tres grupos de la siguiente manera:

- Grupo A: Fibras de 21 cm de longitud, destinadas a ensayos físicos y mecánicos.
- Grupo B: Fibras utilizadas específicamente para ensayos de absorción.
- Grupo C: Fibras con una longitud de 4 cm, destinadas a ser añadidas en la dosificación de patrones.

- **Equipo**

- o Vaso de precipitación con capacidad 500 ml
- o Agitador magnético
- o Balanza: deberá tener una sensibilidad de 0,001 g.
- o Paleta plástica
- o Horno de secado

- **Procedimiento**

- o Tras cortar las fibras destinadas a los grupos mencionados, la muestra debe pesar en su estado natural, teniendo en cuenta que se almacenaba previamente en un entorno fresco y seco.
- o Medir el peso de 500 g de agua destilada utilizando un vaso de precipitación.
- o Utilizando la paleta de plástico, pesar 20 g de hidróxido de sodio por cada 500 g de agua destilada en el vaso de precipitación. Esto se realiza considerando que es una solución en peso.

- Colocar el vaso de precipitación conteniendo el agua destilada sobre el agitador magnético y ajustar la velocidad a 80 rpm.
- Añadir gradualmente el hidróxido de sodio al vaso de precipitación para evitar la acumulación del compuesto químico en los bordes del recipiente. Agitar continuamente hasta observar la completa disolución del compuesto (NaOH). Almacenar la solución resultante en un recipiente hermético y sellarlo. Repetir el procedimiento hasta obtener 3 litros de solución.
- En un recipiente hermético aparte, poner 330 gramos de fibra. Luego, verter la solución preparada hasta que la fibra esté completamente sumergida. Sellar el recipiente hermético y colocarlo en un lugar fresco.
- Después de transcurridas 24 horas, utilizar un cernidor de plástico para extraer la fibra sumergida. Colocar la fibra en un recipiente y lavarla con agua de grifo. Utilizar tiras de pH para verificar el nivel de acidez o alcalinidad hasta alcanzar un valor neutro.
- Extraer la fibra y distribuirla uniformemente sobre la bandeja. Colocar la bandeja con la muestra dentro de un horno de secado a 110 ± 5 °C durante 24 horas.
- Retirar la muestra del horno para su uso.

3.3.3. ABSORCION DE LA FIBRA DE ABACA

Después del tratamiento con hidróxido de sodio, se notó una disminución en la capacidad de absorción de la fibra. Esto podría provocar una estimación incorrecta de la corrección de agua en la mezcla, ya que la fibra tendería a absorber el agua destinada para la reacción del cemento. El objetivo de este ensayo es llevar a cabo una corrección de humedad en la dosificación para evitar que la fibra absorba el agua designada para la reacción con el cemento.

- Equipo

- Balanza: deberá tener una sensibilidad de 0,001 g.

- Procedimiento

- Utilizando la balanza, registrar la masa inicial del recipiente. Colocar la fibra del grupo B sobre la bandeja y registrar la masa total de ambos.
- Añadir agua gradualmente hasta que la fibra esté completamente sumergida. Dejar reposar la mezcla durante 24 horas.
- Drenar el excedente de agua utilizando un colador y colocar la fibra sobre una toalla. Secar suavemente la superficie de la muestra de manera que se encuentre en estado saturada y superficialmente seca
- Verter el contenido de la bandeja de agua e introducir la muestra en ella. Realizar una nueva medición utilizando la balanza de precisión y anotar el valor de la masa obtenido.



Figura 11. Absorción de la fibra de abacá

FUENTE: Prado, 2023

a) Cálculo del porcentaje de absorción de la fibra de abacá

El porcentaje de absorción de la fibra de abacá se obtiene con la siguiente expresión:

$$\% \text{ absorcion} = \frac{m_{ss} - m_i}{m_i} \times 100$$

Ecuación 11. Porcentaje de absorción de la fibra de abacá

Donde:

m_{ss} : masa de la fibra en estado saturada y superficialmente seca, g

m_i : masa inicial de la fibra, g

3.3.4. RESISTENCIA, ELONGACION DE ROTURA Y TENACIDAD

Para determinar la resistencia, elongación de rotura y tenacidad, se aplicaron las directrices establecidas en la norma ASTM D 2256, utilizando una velocidad de prueba de 8 mm/min. Este método implica la sujeción de ambos extremos de una muestra entre mordazas para prevenir el deslizamiento de la fibra. Luego, se aplica fuerza de tensión a la velocidad mencionada anteriormente, y la máquina registra el aumento de la magnitud hasta alcanzar la fuerza de rotura del elemento ensayado.

- **Equipo**

- Balanza encapsulada: deberá tener una sensibilidad de 0,0001 g.
- Máquina de prueba a tensión

- **Procedimiento**

- Las muestras destinadas a los ensayos se someten a un pre-acondicionamiento para alcanzar un equilibrio de humedad cercano al ambiente circundante. Es crucial que el área de ensayo no supere los 50 °C. Se establece como pre-acondicionamiento satisfactorio cuando el peso de dos muestras consecutivas no difiere en más del 0,1% de la masa de la fibra en un lapso máximo de 15 minutos.
- Posicionar un extremo de la fibra en una de las mordazas, evitando torsiones o estiramientos. Luego, fijar el extremo opuesto en la otra abrazadera aplicando una tensión preliminar de $0,5 \pm 0,1$ cN/tex para eliminar posibles holguras.
- Comenzar la prueba a una velocidad de aplicación de fuerza de 8 mm/min. Simultáneamente, registrar el alargamiento de la fibra con tres cifras significativas.
- Si la fibra se desliza entre las mordazas o se rompe en los 3 mm cercanos a cada abrazadera, y el resultado del ensayo caiga por debajo del 20 % del promedio de fuerza de rotura del conjunto, la muestra debe descartarse.



Figura 12. Balanza encapsulada

FUENTE: Prado, 2023

a) Cálculo de tenacidad de rotura de la fibra

Después de completar la prueba individual de las 62 muestras, se determinó la tenacidad de rotura utilizando la siguiente fórmula:

$$B = \frac{F}{T}$$

Ecuación 12. Tenacidad de rotura de la fibra de abacá

Donde:

B: Tenacidad de rotura, cN/tex

F: Fuerza de rotura, cN

T: Densidad lineal, tex

b) Cálculo del alargamiento de las fibras

Para calcular la elongación de las muestras, se utilizó la siguiente fórmula:

$$\% \text{ alargamiento} = \frac{E * R}{C * L} * 100$$

Ecuación 13. Porcentaje de alargamiento de la fibra de abacá

Donde:

E: Distancia tomada desde el punto cero en la gráfica fuerza-elongación hasta el punto correspondiente de la fuerza de pretensión de la fibra, mm

R: Velocidad de prueba, mm/min

C: Velocidad del gráfico de registro, mm/min

L: longitud nominal de la muestra, mm

3.4. DOSIFICACION

Existen varios enfoques para realizar la dosificación de un hormigón; no obstante, independientemente del método seleccionado, es esencial definir las condiciones que se requieren tanto en el estado fresco como en el endurecido del hormigón. Esto implica determinar las propiedades deseadas durante las fases de diseño, ejecución y durabilidad (Fernández, 2013).

Para determinar la dosificación inicial, se llevó a cabo el cálculo del volumen total a utilizar. Este proceso involucró la realización de seis probetas para cilindros, seis para vigas y seis para placas, todos con una adición de fibra del 1,0 %. Además, se realizaron tres probetas de hormigón simple para cada uno de estos elementos mencionados, totalizando 21 muestras para su posterior comparación.

El método ACI representa un enfoque para la dosificación en el diseño de mezclas de concreto, siendo su fundamento la medición de los materiales clave (cemento, agua, grava y arena) en términos de peso y volumen. La ACI 211, la norma que rige los procesos de diseño de mezclas de concreto se basa a su vez en la norma ASTM C33, que proporciona directrices específicas sobre las características granulométricas. Es esencial contar con información previa acerca del tipo de construcción y los materiales a emplear antes de emprender el diseño de la mezcla (Romero & Hernández, 2014).

3.4.1. ASENTAMIENTO

Los valores de asentamiento recomendados, según el tipo de construcción, se resumen en el Anexo III.

3.4.2. TAMAÑO MAXIMO NOMINAL DEL AGREGADO GRUESO

Se busca seleccionar una granulometría apropiada para lograr una masa más compacta y con menos vacíos. En la tabla 7 se presentan los valores recomendados del Tamaño Máximo Nominal (TMN) para diversos tipos de construcciones.

Tabla 4. Tamaño máximo nominal

Dimensión mínima del elemento, cm	Tamaño máximo nominal, mm			
	Muros reforzados, vigas y columnas	Muros sin refuerzo	Losas muy reforzadas	Losas sin refuerzo o poco reforzadas
6-15	12-19	19	19-25	19-38
19-29	19-38	38	38-76	
30-74	38-76	76	38-76	76
75 o más	38-76	152	38-76	76-152

FUENTE: Niño, 2010

3.4.3. AGUA NECESARIA

La necesidad de agua en las mezclas de concreto se origina debido a consideraciones relacionadas con la manejabilidad, la adherencia y el proceso de hidratación. En el Anexo IV se presentan la cantidad necesaria de agua para la mezcla, el cual varía según el asentamiento y el Tamaño Máximo Nominal (TMN).

3.4.4. RELACION AGUA-CEMENTO

Este constituye el aspecto más crucial en la formulación de mezclas de concreto, ya que permite establecer los criterios de resistencia, durabilidad, permeabilidad y acabado. La determinación de esta relación se lleva a cabo empleando el Anexo V.

3.4.5. VOLUMEN DE AGREGADO GRUESO

El volumen de agregado grueso en el hormigón se expresa como un porcentaje del volumen total. Esta proporción varía según las necesidades de resistencia y durabilidad, y se puede obtener en función del tamaño máximo nominal del agregado y el módulo de finura del agregado fino como se indica en la tabla 10:

Tabla 5. Volumen de agregado grueso por m³ de hormigón

Tamaño máximo nominal, mm	VOLUMEN DE AGREGADO GRUESO POR m ³ DE HORMIGON			
	2,40	2,60	2,8	3,0
9	0,50	0,48	0,46	0,44
12	0,59	0,57	0,55	0,53
19	0,66	0,64	0,62	0,60

25	0,71	0,69	0,67	0,65
37	0,76	0,74	0,72	0,70
50	0,78	0,76	0,74	0,72

FUENTE: ACI 211.1, 1991

3.4.6. CORRECCION POR HUMEDAD

Cada tipo de agregado exhibirá una capacidad única de absorción de humedad, lo cual podría afectar la relación entre agua y cemento empleada. Por ende, es necesario realizar una corrección por humedad, para asegurar que los agregados alcancen una condición saturada y superficialmente seca (S.S.S.), evitando así alteraciones en la dosificación (Luna, 2014).

3.4.7. ESTIMACION DE CANTIDADES DE MATERIAL

Con los parámetros mencionados anteriormente, es factible calcular la cantidad de cemento por cada metro cubico de hormigón, el cual establece la relación entre el volumen de agua y la relación agua-cemento. En donde se tendrá de acuerdo a la ecuación 14:

$$C = \frac{a}{r}$$

Ecuación 14. Cantidad de cemento, kg

Donde:

a: cantidad de agua por m³ de hormigón, l. Obtenida de la tabla 8.

r: relación agua-cemento, l/kg. Obtenida de la tabla 9.

C: cantidad de cemento, kg

Se conoce, además de la tabla 10 el volumen necesario de agregado grueso, y para obtener la masa del material se realiza lo indicado en la ecuación 15:

$$M_{ag} = V_{ag} * P$$

Ecuación 15. Cantidad de agregado grueso, kg

Donde:

M_{ag} : masa del agregado grueso, kg

V_{ag} : volumen del agregado grueso, m³. Obtenido de la tabla 10.

P: gravedad específica del agregado grueso, kg/m³

El volumen de agua se tiene de la expresión:

$$V_{agua} = \frac{a}{P_{agua} * 1000}$$

Ecuación 16. Cantidad de agua, m³

Donde:

a: cantidad de agua por m³ de hormigón, l. Obtenida de la tabla 8.

P_{agua} : gravedad específica del agua, kg/l

Finalmente, la cantidad de agregado fino se obtiene mediante la diferencia de volúmenes de material:

$$V_{af} = 1 - (V_{agua} + \%aire + V_{ag} + \frac{C}{P_{cemento}})$$

Ecuación 17. Cantidad de agregado fino, m³

Donde:

V_{agua}: volumen de agua, m³

V_{ag}: volumen de agregado grueso, m³

C: cantidad de cemento, kg

P_{cemento}: gravedad específica del cemento, kg/m³

3.5. ELABORACION DE PROBETAS

3.5.1. HORMIGON SIN ADICION DE FIBRA DE ABACA

Las probetas de hormigón simple son muestras de concreto que se utilizan para evaluar y medir las propiedades del hormigón, como su resistencia a la compresión. Estas probetas son esenciales en el control de calidad de la construcción y en la investigación de materiales de construcción.

Antes de comenzar con la elaboración de probetas, se debe diseñar una mezcla de hormigón que cumpla con los requisitos y volúmenes del proyecto. El volumen de hormigón simple se resume en la tabla 11.

Tabla 6. Resumen volúmenes para hormigón simple

PROBETA	CANTIDAD	DIMENSIONES (m)	VOLUMEN (m ³)	VOLUMEN TOTAL (m ³)
VIGA	3	0,1 x 0,1 x 0,4	0,004	0,012
CILINDRO	3	0,1 x 0,2	0,00157	0,00471
PLACA	3	0,75 x 0,4 x 0,025	0,0075	0,0225

FUENTE: Diana Navarrete

Se tiene un volumen total de hormigón simple de 0,03921 m³, para lo que se detallan los materiales resumidos en la tabla 12.

Tabla 7. Resumen de materiales para hormigón simple

MATERIAL	CANTIDAD (kg/m ³)	CANTIDAD (kg)	CANTIDAD (g)
Cemento	548,78	21,51766	21 517,7
Arena	889,29	34,86906	34 869,1
Ripio	641,70	25,16106	25 161,1
Agua	301,83	11,83475	11 834,8

FUENTE: Diana Navarrete

3.5.2. HORMIGON CON ADICION DE FIBRA DE ABACA

La adición de fibras naturales al hormigón simple es una técnica que busca mejorar las propiedades del hormigón al introducir fibras de origen natural en la mezcla. Para analizar la influencia de su uso en las propiedades del hormigón.

Para el diseño de las probetas con adición de fibra, se tiene como base los volúmenes encontrados en la sección anterior, y para considerar la cantidad de fibra a utilizarse, se toma en cuenta que para el estudio presente se considera el 1% del volumen de agregado grueso. Además, se debe considerar un incremento en la cantidad de agua debido a la absorción de la fibra de abacá. Las cantidades de material considerando la fibra de abacá se resume en la tabla 13.

Tabla 8. Resumen de materiales para hormigón con fibra de abacá

MATERIAL	CANTIDAD (kg/m ³)	CANTIDAD (kg)	CANTIDAD (g)
Cemento	548,78	21,51766	21 517,7
Arena	889,29	34,86906	34 869,1
Ripio	635,28	24,90933	24 909,3
Abacá	6,42	0,25172	251,7
Agua	311,75	12,22372	12 223,7

FUENTE: Diana Navarrete

3.5.3. ELABORACION DE PROBETAS

Las probetas de hormigón simple y con fibra de abacá, se detalló en la *Tabla 11*, se divide en 3 grupos: vigas, cilindros y placas. Y para cada grupo se detalla el proceso a continuación:

3.5.3.1. ELABORACION DE PROBETAS TIPO CILINDRO

Para la elaboración de probetas tipo cilindro de hormigón, se han seguido los lineamientos establecidos en la norma ASTM C 31.

- Equipos:

- Moldes: deben estar hechos de acero, hierro fundido, o de otro material no absorbente, no reactivo con el concreto, de dimensiones 100 mm de diámetro, 200 mm de altura.
- Varilla de compactación: debe ser recta de acero de dimensiones 10 mm de diámetro y 300 mm de longitud, con el extremo compactador o ambos extremos redondeados en una punta hemisférica del mismo diámetro de la varilla
- Mazo: debe tener una cabeza de goma o de cuero crudo con un peso de $0,6 \pm 0,2$ kg.
- Herramientas para llenado de molde: Bailejo
- Herramientas de acabado: llana
- Bandeja de acero para mezclado

- Procedimiento

- Primero se realiza la mezcla de material seco, esto es cemento, arena y ripio. Para las probetas de hormigón adicionado con fibras de abacá se incorpora la fibra en esta etapa.
- Se integra a la mezcla la cantidad de agua gradualmente, hasta generar una mezcla homogénea.
- Engrasar las paredes de los moldes cilíndricos.

- Trasladar la mezcla a los moldes cilíndricos realizándolo en 2 capas iguales, y realizando una compactación de 25 veces por cada capa.
- Golpear los lados de los moldes 10 a 15 veces con combo de caucho para cerrar los vacíos dejados por la varilla.
- Realizadas las 2 capas, enrasar la superficie con la llana, humedecida previamente, para obtener una superficie lisa y nivelada.
- Colocar los moldes en una superficie plana y a temperatura ambiente para su fraguado. **Figura 12**
- Transcurridas 24 horas, realizar el desencofrado de las probetas cilíndricas **Figura 13** e introducirlas en la piscina de curado **Figura 14**.



Figura 13. Probetas cilíndricas con hormigón

FUENTE: Diana Navarrete



Figura 14. Probetas de hormigón desencofradas

FUENTE: Diana Navarrete



Figura 15. Curado de probetas

FUENTE: Diana Navarrete

3.5.3.2. ELABORACION DE PROBETAS TIPO VIGA

Para la elaboración de probetas tipo viga de hormigón, se han seguido los lineamientos establecidos en la norma ASTM C 31.

- Equipos:

- Moldes: deben estar hechos de acero, hierro fundido, o de otro material no absorbente, no reactivo con el concreto, de dimensiones 100 mm x 100 mm x 400 mm.
- Varilla de compactación: debe ser recta de acero de dimensiones 10 mm de diámetro y 300 mm de longitud, con el extremo compactador o ambos extremos redondeados en una punta hemisférica del mismo diámetro de la varilla
- Mazo: debe tener una cabeza de goma con un peso de $0,6 \pm 0,2$ kg.
- Herramientas para llenado de molde: Bailejo
- Herramientas de acabado: llana
- Bandeja de acero para mezclado

- Procedimiento

- Primero se realiza la mezcla de material seco, esto es cemento, arena y ripio. Para las probetas de hormigón adicionado con fibras de abacá se incorpora la fibra en esta etapa.

- Se integra a la mezcla la cantidad de agua gradualmente, hasta generar una mezcla homogénea.
- Engrasar las paredes de los moldes tipo viga.
- Trasladar la mezcla a los moldes realizándolo en 3 capas iguales, y realizando una compactación de 25 veces por cada capa.
- Golpear los lados de los moldes 10 a 15 veces con combo de caucho para cerrar los vacíos dejados por la varilla.
- Realizadas las 3 capas, engrasar la superficie con la llana, humedecida previamente, para obtener una superficie lisa y nivelada.
- Colocar los moldes en una superficie plana y a temperatura ambiente para su fraguado.
- Transcurridas 24 horas, realizar el desencofrado de las probetas e introducirlas en la piscina de curado.

3.5.3.3. ELABORACION DE PROBETAS TIPO PLACA

Para la elaboración de probetas tipo placa de hormigón, se han seguido los siguientes lineamientos:

- Equipos:

- Encofrado de madera: deben tener dimensiones 750 mm x 400 mm x 25 mm.
- Mazo: debe tener una cabeza de goma con un peso de $0,6 \pm 0,2$ kg.
- Herramientas para llenado del encofrado: Bailejo
- Herramientas de acabado: llana
- Bandeja de acero para mezclado

- Procedimiento

- Primero se realiza la mezcla de material seco, esto es cemento, arena y ripio. Para las probetas de hormigón adicionado con fibras de abacá se incorpora la fibra en esta etapa.
- Se integra a la mezcla la cantidad de agua gradualmente, hasta generar una mezcla homogénea.
- Engrasar las caras internas del encofrado de madera.

- Trasladar la mezcla al encofrado sin generar presión ni compactación previa a la mezcla.
- Golpear los lados del encofrado 10 a 15 veces con combo de caucho.
- Enrasar la superficie con la llana, humedecida previamente, para obtener una superficie lisa y nivelada.



Figura 16. Encofrado de madera para probetas tipo placa

FUENTE: Diana Navarrete

3.6. ENSAYO DE PROBETAS

3.6.1. ENSAYO A PROBETAS TIPO CILINDRO

Las probetas de hormigón tipo cilindro son ensayadas de acuerdo a los lineamientos detallados en la norma ASTM C39, ensayos que permiten obtener la resistencia a la compresión ($f'c$) de especímenes cilíndricos moldeados en laboratorio.

- Equipos

- Máquina de ensayo de cargas: debe aplicar una carga continua en todo el procedimiento de prueba.
- Flexómetro: dispositivo de medición con una precisión de 0,1 cm.
- Vernier digital: dispositivo de medición con una precisión de 0,01 mm.
- Almohadillas de neopreno



Figura 17. Máquina de ensayo de cargas

FUENTE: Diana Navarrete

- **Preparación de las probetas**

- Con ayuda del vernier digital, medir dos diámetros en ángulo recto aproximadamente en la mitad de la altura de las probetas.
- Con ayuda del flexómetro, medir tres longitudes a separaciones similares alrededor de la circunferencia.
- Colocar las almohadillas de neopreno en la probeta para ingresar a la máquina de ensayo.

- **Procedimiento de ensayo**

- Iniciar el ensayo de la muestra inmediatamente tras extraerle la cámara de curado es esencial, para preservar inalteradas las condiciones de humedad que la envuelven.
- Verificar que las superficies de la máquina de ensayo, tanto superior con inferior, se encuentren limpias, sin restos de otro material de manera de no alterar los resultados de la prueba de carga.

- Colocar la probeta en el soporte inferior de la máquina de ensayos.
- Alinear y centrar los ejes con el centro del soporte superior o soporte móvil.
- Ajustar los soportes con la probeta, de modo que esté en contacto el soporte móvil con la cara de la probeta.
- Iniciar la prueba de carga, incrementando continuamente a 0,25 MPa/s.
- Aplicar la carga hasta que la probeta falle. Los tipos de falla se describen en la Figura 17.

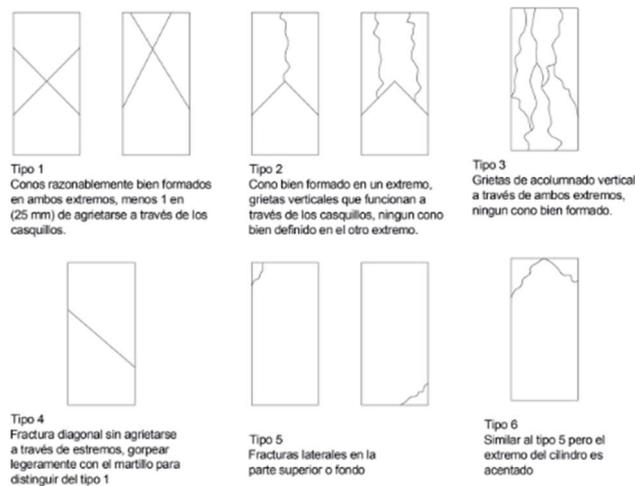


Figura 18. Tipos de falla en probetas cilíndricas

FUENTE: ASTM C39

3.6.2. ENSAYO A PROBETAS TIPO VIGA

Las probetas de hormigón tipo viga se ensayan según los lineamientos detallados en la norma ASTM C78, ensayos que permiten la resistencia a la flexión de especímenes tipo viga moldeados en laboratorio.

- Equipos

- Máquina de ensayo de cargas: debe aplicar una carga continua en todo el procedimiento de prueba. No se debe utilizar maquinas operadas manualmente, que no permiten la aplicación de carga continua.
- Aparato de carga: son placas de acero que aseguren que la carga es aplicada perpendicularmente y sin excentricidad.
- Deformímetro digital

- Preparación de las probetas

- Con ayuda del flexómetro, marcar 2,5 cm en cada extremo de la probeta.
- Con ayuda del flexómetro, medir la luz libre resultante de haber marcado los 2,5 cm en cada extremo.
- Con ayuda del flexómetro, tomar 3 alturas y 3 anchos de cada una de las probetas.
- Con ayuda del flexómetro, dividir la luz libre resultante en tercios, estos serán los puntos de aplicación de la carga.

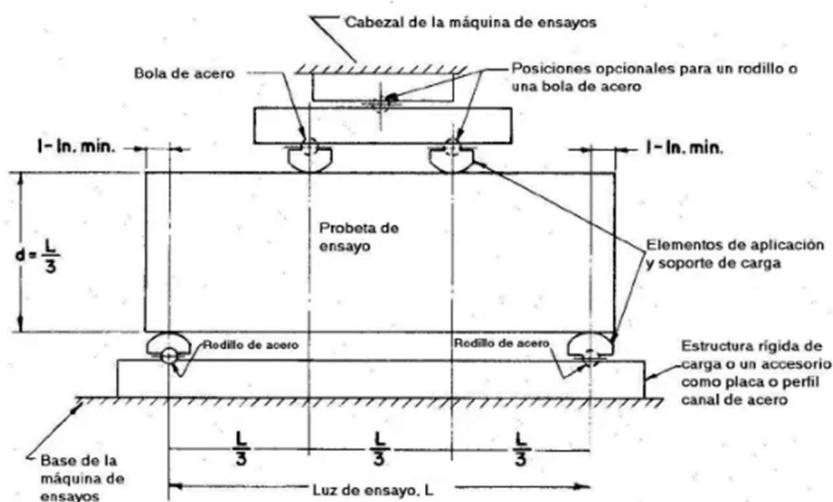


Figura 19. Diagrama representativo del ensayo a flexión con cargas aplicadas en tercios

FUENTE: ASTM C78

- Procedimiento de ensayo

- Iniciar el ensayo de la muestra inmediatamente tras extraerle la cámara de curado es esencial, para preservar inalteradas las condiciones de humedad que la envuelven.
- Es recomendable colocar la probeta para encontrarse girada sobre un costado respecto al cual se moldeó.
- Ajustar el soporte móvil de la máquina de ensayo de carga hasta que este toque con los aparatos de aplicación de carga.
- Colocar el deformímetro en la cara inferior de la viga para la medición de deformaciones con cada incremento de carga.

- Empezar la aplicación de la carga sobre la probeta de manera continua y sin golpes, esta debe tener un incremento a una velocidad entre 0,86 y 1,21 MPa/min hasta que ocurra la rotura del espécimen.



Figura 20. Ensayo a flexión en viga con carga aplicada en los tercios

FUENTE: Diana Navarrete

3.6.3. ENSAYO A PROBETAS TIPO PLACA

Las probetas de hormigón tipo placa se someten a ensayos y análisis en una cámara de aire caliente. Esta cámara consta de elementos como un calefactor diseñado para generar ondas de aire caliente, un ventilador que facilita la circulación del aire, una rejilla que asegura la transferencia del flujo de aire de manera laminar, y una ventana a través de la cual se puede observar visualmente el comportamiento de las probetas.

- Equipos

- Cámara de aire caliente



Figura 21. Cámara de aire caliente para evaluación de losas de hormigón

FUENTE: Diana Navarrete

- **Procedimiento de ensayo**

- Realizar la fundición de las probetas tipo placa como se indica en la *Sección 3.5.3.3*.
- Encender el calefactor y ventilador en la cámara de aire caliente, hasta obtener una temperatura interna uniforme.
- Ingresar inmediatamente la probeta a la cámara de aire caliente.
- Realizar el registro fotográfico y visualización de generación de grietas en las placas durante 6 horas. Las grietas más importantes se generarán en las 3 primeras horas de ingresada la placa a la cámara.

CAPITULO IV RESULTADOS

4.1. FIBRAS DE ABACA

4.1.1. PROPIEDADES MECANICAS

Con la ayuda del Centro Textil Politécnico de la Escuela Politécnica Nacional (CTP-EPN), se obtuvo la información detallada sobre las propiedades mecánicas de las fibras de abacá, las cuales están detalladas en las Tablas 14 y 15.

Tabla 9. Propiedades mecánicas de la fibra de abacá sin tratamiento

PROBETA	FUERZA ROTURA (N)	ELONGACION (%)	DENSIDAD LINEAL (tex)	TENACIDAD (Cn/TEX)
1	20,8	1,7	52,4	39,7
2	31,3	3,6	71,4	43,9
3	12,7	2,4	25,2	50,2
4	31,6	2,5	75,7	41,8
5	40,1	3,4	83,3	48,1
6	51,4	3,2	92,4	55,6
7	64,2	3,7	121,0	53,1
8	56,9	2,8	102,4	55,6
9	55	3,2	107,1	51,4
10	47,7	2,9	89,1	53,5
11	80,8	3,8	121,9	66,3
12	78,9	3,1	109,5	72,0
13	18,7	2,5	52,4	35,8
14	51,2	2,8	101,9	50,2
15	60,2	3,7	66,7	90,2
16	32,7	3,4	51,0	64,3
17	41,5	2,6	84,3	49,3
18	72,8	2,9	130,5	55,8
19	35,1	3,0	51,9	67,7
20	25,8	3,2	42,9	60,3
21	47,9	3,2	82,4	58,2
22	26,9	2,6	119,1	22,6
23	58,6	3,6	113,3	51,7
24	67,2	3,7	103,3	65,1
25	49,3	2,8	121,4	40,6
26	38,2	2,5	82,9	46,1
27	43,7	3,0	91,0	48,1
28	31,5	2,4	71,9	43,7

29	55,1	3,5	98,6	55,9
30	36,8	2,9	67,1	54,8
31	53,8	3,7	89,1	60,4
32	66,4	5,5	93,3	71,1
33	35,7	3,1	79,5	44,9
34	31	3,0	79,5	39,0
Media	47,9	3,2	89,3	54,0
Des. estándar	15,61	1,0	22,6	12,0

FUENTE: Diana Navarrete

Tabla 10. Propiedades mecánicas de la fibra de abacá con tratamiento

PROBETA	FUERZA ROTURA (N)	ELONGACION (%)	DENSIDAD LINEAL (tex)	TENACIDAD (Cn/TEX)
1	20,8	1,7	52,4	39,7
2	31,3	3,6	71,4	43,9
3	12,7	2,4	25,2	50,2
4	31,6	2,5	75,7	41,8
5	16,1	2,0	33,3	48,4
6	32,0	2,6	84,8	37,7
7	30,8	1,9	89,5	34,4
8	32,8	2,5	81,9	40,0
9	16,4	1,3	62,9	26,0
10	27,3	2,3	62,9	43,4
11	30,3	2,0	81,9	37,0
12	16,4	2,0	17,1	95,8
13	40,6	2,4	95,2	42,7
14	39,6	2,6	90,0	44,0
15	31,3	2,4	75,7	41,4
16	22,2	2,2	71,0	31,3
17	25,6	1,9	69,1	37,1
18	16,0	2,1	35,7	44,8
19	30,8	2,0	72,9	42,3
20	16,4	2,4	34,3	47,9
21	25,3	2,3	68,6	36,9
22	24,5	2,6	74,3	33,0
23	22,9	2,0	63,3	36,1
24	27,9	3,1	76,7	36,4
25	52,6	2,7	112,4	46,8
26	17,3	1,7	64,8	26,7
27	16,5	1,9	55,7	29,6
28	30,5	1,9	80,0	38,2
29	22,9	1,8	71,0	32,2
30	32,0	1,8	86,7	37,0
31	32,2	3,7	64,8	49,7
32	18,9	1,5	55,2	34,2
33	40,8	3,3	88,6	46,1

Media	26,8	2,3	68,0	41,0
Des. estándar	9,0	1,0	20,9	12,0

FUENTE: Diana Navarrete

4.1.2. PROPIEDADES FISICAS

Entre las propiedades físicas analizadas en las fibras de abacá, se obtuvo el porcentaje de absorción de las mismas sometidas al tratamiento químico con NaOH al 4%, obteniéndose una absorción de 1.03, es decir la fibra absorbe una cantidad de agua equivalente a su peso, y un 3% adicional.

Así mismo, se obtuvo el contenido de humedad de las fibras en su estado natural, esto es sin tratamiento químico con NaOH, y se encontró que la fibra de abacá contiene un 12,9% de humedad.

4.2. PROBETAS DE HORMIGON

4.2.1. PROBETAS TIPO CILINDRO

Las probetas de hormigón tipo cilindro elaboradas con y sin fibra de abacá, fueron estudiadas y ensayadas para obtener las propiedades mecánicas a compresión del hormigón diseñado, resultados que se presentan en la tabla 12:

Tabla 11. Datos característicos de cilindros de hormigón con y sin fibras de abacá

IDENTIFICACION	FABRICACION (dd/mm/aaaa)	ROTURA (dd/mm/aaaa)	EDAD (días)	DIAMETRO (mm)	AREA (mm ²)
P1-055 SF	28/06/2023	05/07/2023	7	101,75	8131
P2-055 SF	28/06/2023	12/07/2023	14	102,25	8211
P3-055 SF	28/06/2023	26/07/2023	28	101,75	8131
P1-055 CF	05/07/2023	12/07/2023	7	102,25	8211
P2-055 CF	05/07/2023	12/07/2023	7	101,25	8052
P3-055 CF	05/07/2023	12/07/2023	7	103,50	8413
P4-055 CF	05/07/2023	02/08/2023	28	102,75	8292
P5-055 CF	05/07/2023	02/08/2023	28	101,00	8012
P6-055 CF	05/07/2023	02/08/2023	28	103,25	8373

FUENTE: Diana Navarrete

Tabla 12. Resistencia a la compresión de cilindros de hormigón con y sin fibra de abacá

IDENTIFICACION	CARGA MAXIMA (kN)	TIPO DE FALLA	DEFECTOS	RESISTENCIA	
				(MPa)	±U
P1-055 SF	151,0	Tipo 2	A	16,6	0,02
P2-055 SF	216,4	Tipo 2	A	26,3	0,02
P3-055 SF	247,8	Tipo 2	A	30,4	0,03
P1-055 CF	113,5	Tipo 2	A	13,8	0,01
P2-055 CF	122,5	Tipo 2	A	15,2	0,01
P3-055 CF	114,4	Tipo 2	A	13,6	0,01
P4-055 CF	183,3	Tipo 2	A	22,1	0,02
P5-055 CF	162,6	Tipo 2	A	20,3	0,02
P6-055 CF	198,7	Tipo 2	A	23,7	0,02

FUENTE: Diana Navarrete

Y se tiene el siguiente grafico comparativo:

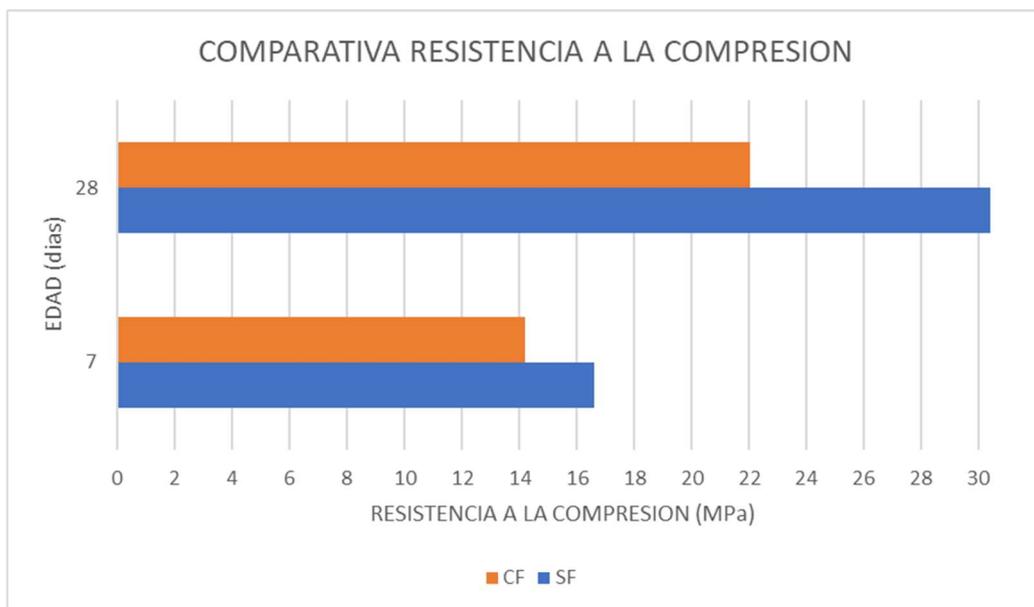


Figura 22. Gráfico comparativo resistencia a la compresión

FUENTE: Diana Navarrete

4.2.2. PROBETAS TIPO VIGA

Las probetas de hormigón tipo viga elaboradas con y sin fibra de abacá, fueron estudiadas y ensayadas para obtener la resistencia a la flexión del hormigón diseñado, resultados que se presentan en la tabla 14:

Tabla 13. Datos característicos de probetas tipo viga con y sin fibras de abacá

IDENTIF.	FABRICACION (dd/mm/aaaa)	ROTURA (dd/mm/aaaa)	EDAD (días)	SEC. DE ROTURA		LUZ (mm)
				ALTO (mm)	ANCHO (mm)	
V1-055 SF	28/06/2023	05/07/2023	7	101	102	351
V2-055 SF	28/06/2023	12/07/2023	14	103	102	353
V3-055 SF	28/06/2023	26/07/2023	28	103	101	354
V1-055 CF	05/07/2023	12/07/2023	7	101	99	350
V2-055 CF	05/07/2023	12/07/2023	7	101	101	350
V3-055 CF	05/07/2023	12/07/2023	7	100	100	352
V4-055 CF	05/07/2023	02/08/2023	28	99	100	351
V5-055 CF	05/07/2023	02/08/2023	28	100	99	351
V6-055 CF	05/07/2023	02/08/2023	28	100	101	354

FUENTE: Diana Navarrete

Tabla 14. Resistencia a la flexión de vigas de hormigón con y sin fibra de abacá

IDENTIFICACION	CARGA MAXIMA (N)	MODULO DE ROTURA (MPa)
V1-055 SF	10222	3,45
V2-055 SF	10397	3,40
V3-055 SF	10905	3,60
V1-055 CF	8305	2,90
V2-055 CF	7278	2,45
V3-055 CF	8843	3,10
V4-055 CF	11258	4,05
V5-055 CF	9550	3,40
V6-055 CF	9698	3,40

FUENTE: Diana Navarrete

Y se tiene el siguiente grafico comparativo:

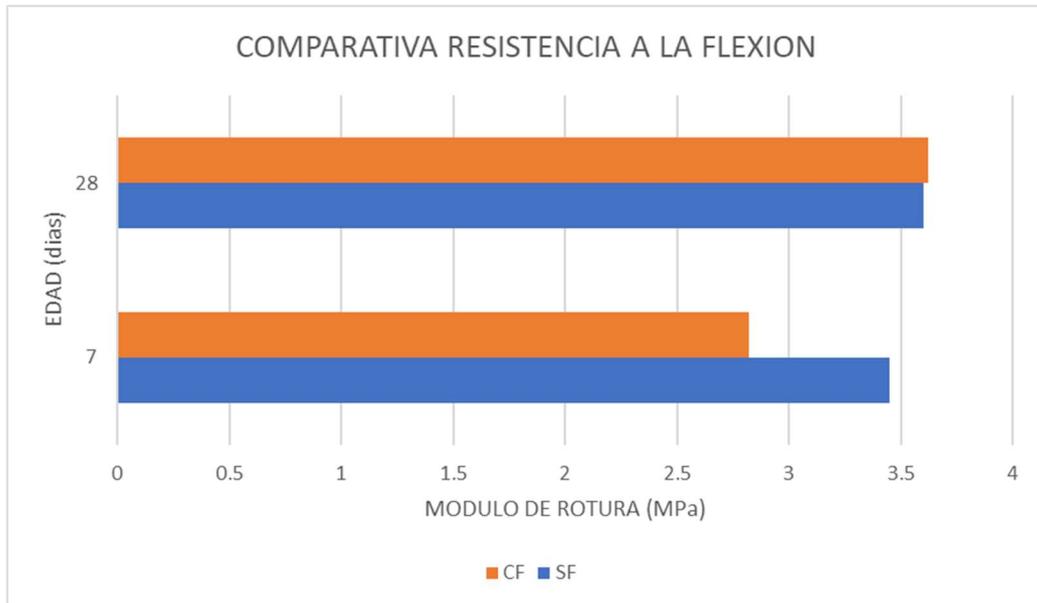


Figura 23. Gráfico comparativo resistencia a la flexión

FUENTE: Diana Navarrete

4.2.3. PROBETAS TIPO LOSA

En las probetas de hormigón tipo losa con fibra, con la ayuda de un anemómetro, se registra los datos de temperatura y velocidad cada 30 minutos.

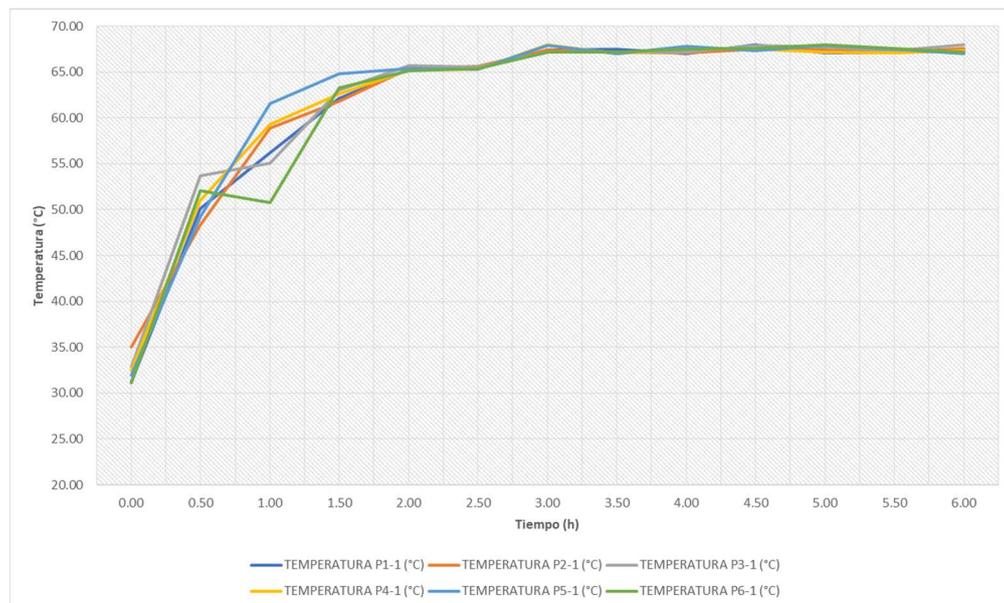


Figura 24. Registro de temperatura vs tiempo

FUENTE: Diana Navarrete

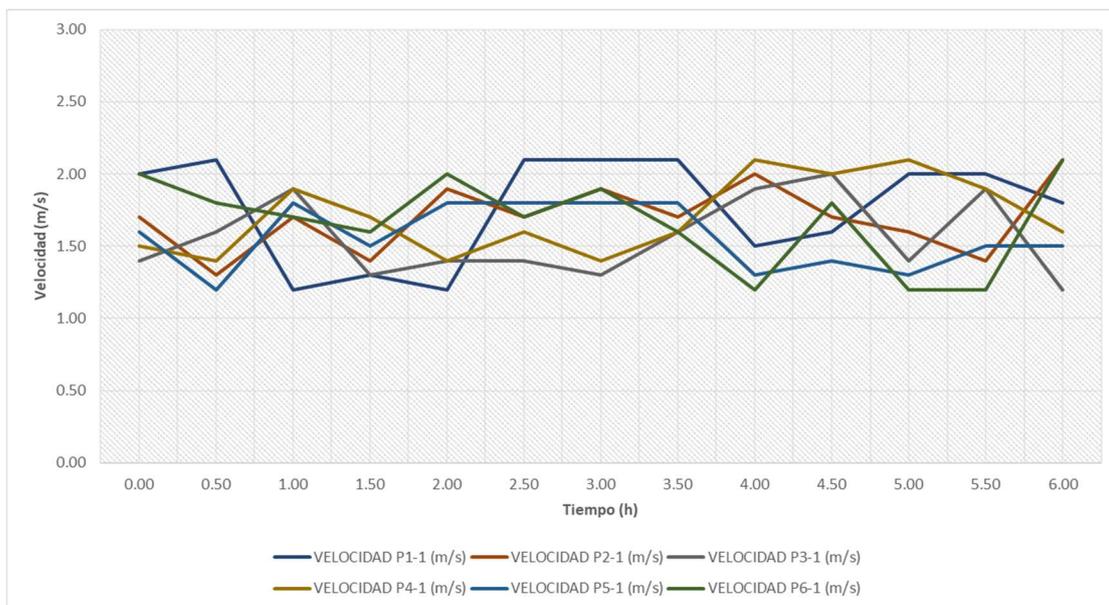


Figura 25. Registro de velocidad vs tiempo

FUENTE: Diana Navarrete

Se tiene, además como resultados para las probetas tipo placa la comparativa en el agrietamiento en las placas con y sin adición de fibras de abacá al 1%.

Tabla 15. Longitud de grietas en probetas tipo placa

IDENTIFICACION PLACA	LONG. GRIETAS (mm)
P01-SF	1159,00
P02-SF	592,00
P03-SF	856,00
P01-CF-1%	0,00
P02-CF-1%	0,00
P03-CF-1%	0,00
P04-CF-1%	0,00
P05-CF-1%	0,00
P06-CF-1%	0,00

FUENTE: Diana Navarrete

CONCLUSIONES

- El uso de fibras naturales en hormigón ofrece ventajas en refuerzo mecánico, control de fisuración y sostenibilidad. Las fibras, derivadas de diversas fuentes vegetales, están siendo investigadas y aplicadas en la industria de la construcción, lo que demuestra su potencial para mejorar la calidad y sostenibilidad de las estructuras de hormigón.
- Se encontró un hormigón, cuya resistencia teórica durante el diseño era de 240 kgf/cm². En los ensayos se obtuvo que la resistencia a la compresión experimental a los 28 días con adición de fibras de abacá alcanzaba los 220 kgf/cm².
- La resistencia a la compresión del hormigón experimental ronda un valor que lo convierte en comerciable y utilizable en gran parte de elementos estructurales.
- El uso de fibras de abacá reduce la resistencia a la flexión en el hormigón a los 7 días, pero a los 28 días esta resistencia a la flexión mejora el uso de fibras de abacá respecto al hormigón sin fibras de abacá adicionadas.
- El uso de fibras de abacá genera una reducción en la resistencia a la compresión en el hormigón, que se vuelve más importante a los 28 días, que representa un 27% respecto al hormigón sin fibras de abacá adicionadas.
- La utilización de fibras de abacá reduce notablemente el comportamiento del hormigón respecto a las fisuras por contracción plástica, pues en las 6 probetas fabricadas con fibra de abacá no se presentaron agrietamientos.

RECOMENDACIONES

- Las fibras de abacá tienen gran capacidad de hidratación, por lo cual se recomienda considerar este aspecto para la corrección de cantidad de agua durante la dosificación, de forma que esto no incurra en errores en la realización de probetas.
- Se recomienda controlar el flujo de aire en la cámara de aire para las probetas tipo placa, esto es permitir que este flujo tenga una apertura de salida.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos. (n.d.). *Información sobre el asbesto*.
- Alcívar, T., & Durán, J. (2023). Análisis del comportamiento mecánico del hormigón convencional empleando fibra de abacá. *Revista Científica Dominio de Las Ciencias*, 9(3), 1624–1640.
- Banthia, N., & Gupta, R. (2006). Influence of polypropylene fiber geometry on plastic shrinkage cracking in concrete. *Cement and Concrete Research*, 36(7), 1263–1267.
- Caizaguano, O., & Terán, G. (2020). *Caracterización del hormigón con fibras naturales del raquis de la palma africana de aceite y la estopa del coco* [Tesis de grado]. Escuela Politécnica Nacional.
- Cartwright, M. (2016, August 29). *City Wall of Stone & Opus Caementicium, Roman Empuries (Detail)*. World History Encyclopedia.
- Díaz, P. (2016). Concreto reforzado con fibra natural de origen animal (plumas de aves). *Revista Ingeniería: Ciencia, Tecnología e Innovación*, 3(2), 92–95.
- Fenollar, O. (2015). *Fibras naturales para materiales compuestos ecológicos*. *Green Composites*.
- Fernández, C. (2013). *Diseño de hormigones con porosidad controlada* [Tesis de maestría]. Universidad Politécnica de Cataluña.
- García-García, J. (2013). Cálculo del tamaño de la muestra en investigación en educación médica. *Investigación En Educación Médica*, 2(8), 217–224.
- Jaimes, D., García, J., & Rondón, J. (2020). Importancia del concreto en el campo de la construcción. *Revista Formación Estratégica*, 1(2), 1–13.
- Martín, A. (2020). *Estudio comparativo de fibras naturales para reforzar hormigón* [Tesis de grado]. Universidad Politécnica de Valencia.
- Miranda, C., & Rado, M. (2019). *Propuesta de concretos reforzados con fibras de acero y cemento puzolánico para la construcción de pavimentos rígidos en la región de Apurímac* [Tesis de grado]. Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas.
- National Ready Mixed Concrete Association. (n.d.). *Agrietamiento por Contracción plástica*. El Concreto En La Práctica ¿Qué, Cómo y Por Qué?
- Niño, J. (2010). *Tecnología del concreto: Materiales, propiedades y diseño de mezclas*. Editorial ASOCRETO.
- Nistal, A., Retana, M., & Ruiz, T. (2012). El hormigón: historia, antecedentes en obras y factores indicativos de su resistencia. *Tecnología@ y Desarrollo*, 10, 4–7.

- Olivera, Y., Guevara, S., & Muñoz, S. (2021). Revisión sistemática de la literatura sobre la mejora de las propiedades mecánicas del hormigón con fibras de origen artificial-natural. *Revista Ingeniería*, 27(2), 1–18.
- Páez, J. (2007). *Obtención de compuestos de polipropileno reforzado con fibras de abacá mediante moldeo por compresión* [Tesis de grado]. Escuela Politécnica Nacional.
- Paricaguán, B., & Muñoz, J. (2019). Estudio de las propiedades mecánicas del concreto reforzado con fibras de bagazo de caña de azúcar. *Revista Ingeniería UC*, 26, 202–212.
- Prado, C. (2023). *Estudio del hormigón con fibras naturales de abacá al 0,5% como componente en la dosificación, con tratamiento químico NaOH* [Tesis de grado]. Escuela Politécnica Nacional.
- Reynolds, C., & Steedman, J. (2007). *Reinforced Concrete Designer's Handbook*. CRC Press.
- Romero, A., & Hernández, J. (2014). *Diseño de mezclas de hormigón por el método ACI y efectos de la adición de cenizas volantes de Termotasajero en la resistencia a la compresión* [Tesis de grado]. Universidad Santo Tomas.
- Toirac, J. (2004). Patología de la construcción grietas y fisuras en obras de hormigón; origen y prevención. *Revista Ciencia y Sociedad*, 29(1), 72–114.

ANEXOS

ANEXO I. Masas requeridas para ensayos de agregado fino

Tamaño nominal máximo, mm	Tamaño de muestra de prueba, kg
9,5	1
12,5	2
19,0	5
25,0	10
37,5	15
50,0	20

FUENTE: ASTM C128

ANEXO II. Masas requeridas para ensayos de agregado grueso

Tamaño nominal máximo, mm	Tamaño de muestra de prueba, kg
12,5	2
19,0	3
25,0	4
37,5	5
50,0	8

FUENTE: ASTM C127

ANEXO III. Asentamientos de acuerdo al tipo de construcción

Tipo de construcción	Asentamiento (cm)	
	Máximo	Mínimo
Muros de cimentación y zapatas	7,5	2,5
Zapatas y muros de subestructuras sencillos	7,5	2,5
Vigas y muros reforzados	10	2,5
Columnas para edificios	10	2,5
Pavimentos y losas	7,5	2,5
Concreto masivo	7,5	2,5

FUENTE: Luna, 2014

ANEXO IV. Cantidad teórica de agua

Asentamiento, cm	Tamaño máximo nominal del agregado, cm						
	0,95	1,27	1,9	2,54	3,81	5,08	7,62
Hormigón sin inclusión de aire							
2,5-5,1	208	198	183	178	163	153	144
7,6-10,2	228	218	203	193	178	168	158
15,2-17,8	243	228	213	203	188	178	168
% de aire	3	2,5	2	1,5	1	0,5	0,3
Hormigón con inclusión de aire							
2,5-5,1	183	178	163	153	144	134	124
7,6-10,2	203	193	178	168	158	149	139
15,2-17,8	213	203	188	178	168	158	149
% de aire	8	7	6	5	4,5	4	3,5

FUENTE: Luna, 2014

ANEXO V. Relación agua - cemento

Relación agua-cemento, l/kg de cemento	L/saco de cemento	Resistencia probable a la compresión a los 28 días, kgf/cm ²	
		Hormigón sin inclusión de aire	Hormigón con inclusión de aire
0,353	17,5	425	325
0,445	22,5	350	280
0,53	26,5	280	210
0,623	31,0	210	180
0,705	35,5	180	140
0,8	40,0	140	110

FUENTE: Luna, 2014

ANEXO VI. Resultados de Gravedad específica y absorción de agregados, elaborado por LEMSUR



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES, MECÁNICA DE SUELOS Y ROCAS



GRAVEDAD ESPECÍFICA Y ABSORCIÓN DE AGREGADOS

Código de Informe: GSA-23-008-I
Fecha de Informe: 2023-08-25

Hoja 01 de 01

DATOS DEL CLIENTE

Razón Social: Diana Jazmin Navarrete Moreta
Dirección: Ladrón de Guevara E11-253 y Andalucía
Teléfono: ***

DATOS DEL PROYECTO

Proyecto: "Estudio del hormigón con fibras naturales de abacá como componente en la dosificación con tratamiento químico"
Contratante: ***
Contratista: ***
Fiscalizador: ***
PROCEDENCIA: ***
TIPO DE MUESTRA: Indicada
NORMA: ASTM C128 / ASTM C127
FECHA DE ENSAYO: 2023-02-16

RESULTADOS DEL ENSAYO					
Identificación	Descripción	Densidad relativa seca	Densidad relativa S.S.S	Densidad relativa aparente	Absorción de agua (%)
009-I-H-01	Arena	2,580	2,635	2,731	2,15
009-I-H-02	Ripio	2,581	2,639	2,740	2,24

Observaciones: El término "Densidad relativa S.S.S" se refiere a la densidad de la muestra determinada bajo la condición saturada y superficialmente seca. La información proporcionada por el cliente, tal como, procedencia y tipo de muestra, involucra su total responsabilidad. Los resultados reportados en el presente informe corresponden únicamente a los ítems ensayados bajo las condiciones del Laboratorio. El contenido del presente informe no podrá reproducirse ni parcial ni totalmente sin la autorización del LEMSUR.


Ing. Mercedes Villacis
JEFE DE LABORATORIO



Tel.: 2976300
Ext.: 1609

Dirección: Ladrón de Guevara E11-253 y Andalucía / Edif. Ing. Civil / Mezanine / Ofic. M15 Email: lemsur@epn.edu.ec

ANEXO VII. Resultado de análisis granulométrico del agregado grueso, elaborado por LEMSUR



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES, MECÁNICA DE SUELOS Y ROCAS



ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO

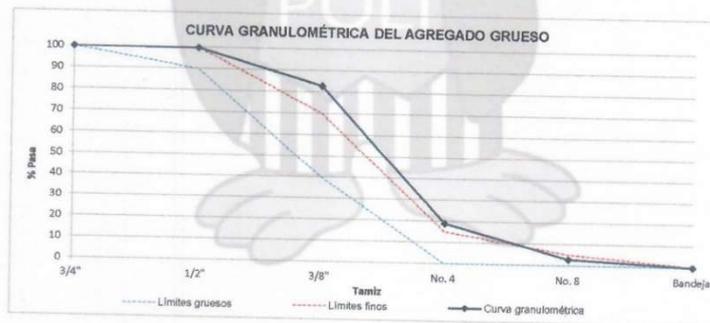
Código de Informe: GRG-23-003-I
Fecha de informe : 2023-08-25 Hoja 01 de 01

DATOS DEL CLIENTE
Razón social: Diana Jazmin Navarrete Moreta
Dirección: Ladrón de Guevara E11-253 y Andalucía
Teléfono: ***

DATOS DEL PROYECTO
Proyecto: "Estudio del hormigón con fibras naturales de abacá como componente en la dosificación con tratamiento químico"
Contratante: ***
Contratista: ***
Fiscalizador: ***

MUESTRA: Agregado grueso - chispa 3/8"
PROCEDENCIA: ***
FECHA DE ENSAYO: 2023-02-16
NORMA: ASTM C136/C136M

Tamiz No.	Tamaño Abertura (mm)	Peso Retenido (g)	Porcentaje Retenido (%)	Porcentaje Retenido Acumulado (%)	Porcentaje Que Pasa (%)
3/4"	19,00	0,0	0,0	0,0	100,0
1/2"	12,50	1,9	0,2	0,2	99,8
3/8"	9,50	172,5	17,0	17,2	82,8
No. 4	4,75	648,4	63,9	81,0	19,0
No. 8	2,36	162,5	16,0	97,1	2,9
Bandeja	-	29,9	2,9	100,0	0,0
	TOTAL	1016,10	Módulo de Finura 6,0		



Observaciones: La información proporcionada por el cliente, tal como, muestra y procedencia, involucra su total responsabilidad. Los resultados reportados en el presente informe corresponden únicamente a los ítems ensayados bajo las condiciones de Laboratorio. El contenido del presente informe no podrá reproducirse ni parcial ni totalmente sin la autorización del LEMSUR.

Ing. Mercedes Villacis
JEFE DE LABORATORIO



Telf.: 2976300
Ext.: 1609

F-T-8-06

Dirección: Ladrón de Guevara E11-253 y Andalucía / Edif. Ing. Civil / Mezanine / Ofic. M15 Email: lemsur@epn.edu.ec

ANEXO VIII. Resultado de análisis granulométrico al agregado fino, elaborado por LEMSUR



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES, MECÁNICA DE SUELOS Y ROCAS



ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO

Código de Informe: GRF-23-008-I

Fecha de informe: 2023-08-25

Hoja 01 de 01

DATOS DEL CLIENTE

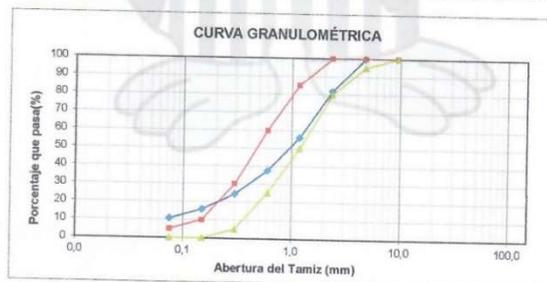
Razón social: Diana Jazmin Navarrete Moreta
Dirección: Ladrón de Guevara E11-253 y Andalucía
Teléfono: ***

DATOS DEL PROYECTO

Proyecto: "Estudio del hormigón con fibras naturales de abacá como componente en la dosificación con tratamiento químico"
Contratante: ***
Contratista: ***
Fiscalizador: ***
MUESTRA: Agregado fino
PROCEDENCIA: ***
FECHA DE ENSAYO: 2023-02-16
NORMA: ASTM C136M

Tamiz No.	Tamaño Abertura (mm)	Peso Retenido (g)	Porcentaje Retenido (%)	Porcentaje Acumulado (%)	Porcentaje que pasa (%)
No. 4	4,750	0,0	0,0	0,0	100,0
No. 8	2,360	44,8	18,0	18,0	82,0
No. 16	1,180	65,0	26,1	44,0	56,0
No. 30	0,600	45,8	18,4	62,4	37,6
No. 50	0,300	32,9	13,2	75,6	24,4
No. 100	0,150	21,2	8,5	84,1	15,9
No. 200	0,075	13,0	5,2	89,3	10,7
BANDEJA	-	26,7	10,7	100,0	0,0
Total		249,4			

Observaciones: La información proporcionada por el cliente, tal como, muestra y procedencia, involucra su total responsabilidad. Los resultados reportados en el presente informe corresponden únicamente a los ítems ensayados bajo las condiciones de Laboratorio. El contenido del presente informe no podrá reproducirse ni parcial ni totalmente sin la autorización del LEMSUR.



Ing. Mercedes Villacis
JEFE DE LABORATORIO



Tel.: 2976300
Ext.: 1609

Dirección: Ladrón de Guevara E11-253 y Andalucía / Edif. Ing. Civil / Mezanine / Ofic. M15 Email: lemsur@epn.edu.ec

ANEXO IX. Resultados de flexión en vigas de hormigón, elaborado por LEMSUR



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES, MECÁNICA DE SUELOS Y ROCAS



FLEXIÓN EN HORMIGÓN

Código de Informe: FLEXV-23-003-I
Fecha de informe : 2023-08-25

Hoja 01 de 01

DATOS DEL CLIENTE

Razón social: Diana Jazmin Navarrete Moreta
Dirección: Ladrón de Guevara E11-253 y Andalucía
Teléfono: ***

DATOS DEL PROYECTO

Proyecto: "Estudio del hormigón con fibras naturales de abacá como componente en la dosificación con tratamiento químico"
Contratante: ***
Contratista: ***
Fiscalizador: ***
ELEMENTO: Viga
ANALISTA: FG
NORMA DE REFERENCIA: INEN 2554

No.	Fecha de fábrica	Descripción	Fecha de rotura	Edad (días)	Sección de rotura		Luz libre (mm)	Carga máxima (N)	Módulo de rotura (MPa)
					Alto (mm)	Ancho (mm)			
1	2023-06-28	V1-055 SF	2023-07-05	7	101	102	351	10222	3,45
2	2023-06-28	V2-055 SF	2023-07-12	14	103	102	353	10397	3,40
3	2023-06-28	V3-055 SF	2023-07-26	28	103	101	354	10905	3,60
4	2023-07-12	V1-055 CF	2023-07-19	7	101	99	350	8305	2,90
5	2023-07-12	V2-055 CF	2023-07-19	7	101	101	350	7278	2,45
6	2023-07-12	V3-055 CF	2023-07-19	7	100	100	352	8843	3,10
7	2023-07-12	V4-055 CF	2023-08-08	28	99	100	351	11258	4,05
8	2023-07-12	V5-055 CF	2023-08-09	28	100	99	351	9550	3,40
9	2023-07-12	V6-055 CF	2023-08-08	28	100	101	354	9698	3,40

Observaciones: La información proporcionada por el cliente, tal como, elemento, fecha de fábrica y descripción, involucra su total responsabilidad. Los resultados reportados en el presente informe corresponden únicamente a los ítems ensayados bajo las condiciones del Laboratorio. El contenido del presente informe no podrá reproducirse ni parcial ni totalmente sin la autorización del LEMSUR.

Ing. Mercedes Villacís
JEFE DE LABORATORIO



Telf.: 2976300
Ext.: 1609

Dirección: Ladrón de Guevara E11-253 y Andalucía / Edif. Ing. Civil / Mezanine / Ofic. M15 Email: lemsur@epn.edu.ec

ANEXO X. Resultados de densidad aparente de agregado fino y grueso, elaborado por LEMSUR



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES, MECÁNICA DE SUELOS Y ROCAS



DENSIDAD APARENTE

Código de Informe: DA-23-008-I
Fecha de Informe : 2023-08-25

Hoja 01 de 01

DATOS DEL CLIENTE

Razón Social: Diana Jazmin Navarrete Moreta
Dirección: Ladrón de Guevara E11-253 y Andalucía
Teléfono: ***

DATOS DEL PROYECTO

Proyecto: "Estudio del hormigón con fibras naturales de abacá como componente en la dosificación con tratamiento químico"
Contratante: ***
Contratista: ***
Fiscalizador: ***
PROCEDENCIA: ***
TIPO DE MUESTRA: Indicadas
FECHA DE ENSAYO: 2023-02-16
NORMA: ASTM C29

DENSIDAD APARENTE DE AGREGADOS					
Identificación	Descripción	Muestra Suelta		Muestra Compactada	
		Densidad seca (kg/m ³)	Contenido de vacíos (%)	Densidad seca (kg/m ³)	Contenido de vacíos (%)
009-I-H-01	Arena	1521	41	1729	33
009-I-H-02	Ripio	1287	50	1426	45

Observaciones: La información proporcionada por el cliente, tal como, muestra y procedencia, involucra su total responsabilidad. Los resultados reportados en el presente informe corresponden únicamente a los ítems ensayados bajo las condiciones de Laboratorio. El contenido del presente informe no podrá reproducirse ni parcial ni totalmente sin la autorización del LEMSUR.

Ing. Mercedes Villacís
JEFE DE LABORATORIO



Telf.: 2976300
Ext.: 1609

ANEXO XI. Resultados de contenido orgánico del agregado fino, elaborado por LEMSUR



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES, MECÁNICA DE SUELOS Y ROCAS



CONTENIDO ORGÁNICO

Código de Informe: CO-23-008-I
Fecha de informe : 2023-08-25

Hoja 01 de 01

DATOS DEL CLIENTE

Razón Social: Diana Jazmin Navarrete Moreta
Dirección: Ladrón de Guevara E11-253 y Andalucía
Teléfono: ***

DATOS DEL PROYECTO

Proyecto: "Estudio del hormigón con fibras naturales de abacá como componente en la dosificación con tratamiento químico"
Contratante: ***
Contratista: ***
Fiscalizador: ***
PROCEDENCIA: ***
TIPO DE MUESTRA: Arena
FECHA DE ENSAYO: 2023-02-16
NORMA: ASTM C40

ENSAYO DE CONTENIDO ORGÁNICO

Escala "Organic Color Plate"

1	<input checked="" type="checkbox"/>
2	<input type="checkbox"/>
3	<input type="checkbox"/>
4	<input type="checkbox"/>
5	<input type="checkbox"/>

Observaciones: La información proporcionada por el cliente, tal como, muestra y procedencia, involucra su total responsabilidad. Los resultados reportados en el presente informe corresponden únicamente a los ítems ensayados bajo las condiciones de Laboratorio. El contenido del presente informe no podrá reproducirse ni parcial ni totalmente sin la autorización del LEMSUR.

Ing. Mercedes Villacis
JEFE DE LABORATORIO



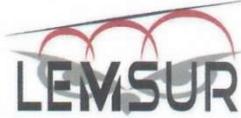
Telf.: 2976300
Ext.: 1609

Dirección: Ladrón de Guevara E11-253 y Andalucía / Edif. Ing. Civil / Mezanine / Ofic. M15 Email: lemsur@epn.edu.ec

ANEXO XII. Resultados de compresión de cilindros de hormigón con adición de fibras de abacá, elaborado por LEMSUR



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES, MECÁNICA DE SUELOS Y ROCAS



COMPRESIÓN DE CILINDROS DE HORMIGÓN

Código de Informe: CC-23-007-I
Fecha de informe : 2023-08-25

Hoja 02 de 02

DATOS DEL CLIENTE

Razón social: Diana Jazmín Navarrete Moreta
Dirección: Ladrón de Guevara E11-253 y Andalucía
Teléfono: ***

DATOS DEL PROYECTO

Proyecto: "Estudio del hormigón con fibras naturales de abacá como componente en la dosificación con tratamiento químico"
Contratante: ***
Contratista: ***
Fiscalizador: ***
ELEMENTO: Hormigón con fibra 1%
NORMA: ASTM C39

No.	Identificación	Fecha fabricación	Fecha rotura	Edad (días)	Diámetro (mm)	Área (mm ²)	Peso* específico (kg/m ³)	Carga Máxima (kN)	Tipo de falla	Defectos	Resistencia	
											(MPa)	± U
1	P1-055 CF	2023-07-05	2023-07-12	7	102,25	8211	2152	113,5	Tipo 2	A	13,8	0,01
2	P2-055 CF	2023-07-05	2023-07-12	7	101,25	8052	2214	122,5	Tipo 2	A	15,2	0,01
3	P3-055 CF	2023-07-05	2023-07-12	7	103,50	8413	2130	114,4	Tipo 2	A	13,6	0,01
4	P4-055 CF	2023-07-05	2023-08-02	28	102,75	8292	2178	183,3	Tipo 2	A	22,1	0,02
5	P5-055 CF	2023-07-05	2023-08-02	28	101,00	8012	2185	162,8	Tipo 2	A	20,3	0,02
6	P6-055 CF	2023-07-05	2023-08-02	28	103,25	8373	2160	198,7	Tipo 2	A	23,7	0,02



Descripción de defectos: A = Ninguno; B = Segregado; C = Porosidad; D = Fisuras preexistentes; E = Ots.

Observaciones: Todos los datos del ítem de ensayo (fecha de fabricación, elemento, identificación) son proporcionadas por el cliente por lo que involucra su total responsabilidad.
Los resultados reportados en el presente informe corresponden únicamente a los ítems ensayados bajo las condiciones del Laboratorio.
U, expresada en MPa, representa la incertidumbre expandida de los resultados.
El tipo de falla y defectos corresponde a lo especificado en la norma ASTM C39.
Los parámetros que se encuentren resaltados con (*) no se encuentran dentro del alcance de acreditación.
Los parámetros de las muestras resaltadas con (*) no se encuentran dentro del alcance de acreditación.
El contenido del presente informe no podrá reproducirse ni parcial ni totalmente sin la autorización del LEMSUR.

Ing. Mercedes Villacís
JEFE DE LABORATORIO



F-T-0-08
Versión 05

Telf.: 2976300
Ext.: 1609

Dirección: Ladrón de Guevara E11-253 y Andalucía / Edif. Ing. Civil / Mezanine / Ofic. M15 Email: lemsur@epn.edu.ec

ANEXO XIII. Resultados de compresión de cilindros de hormigón sin adición de fibras de abacá, elaborado por LEMSUR



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES, MECÁNICA DE SUELOS Y ROCAS



COMPRESIÓN DE CILINDROS DE HORMIGÓN

Código de Informe: CC-23-007-I
Fecha de informe: 2023-08-25

Hoja 01 de 02

DATOS DEL CLIENTE

Razón social: Diana Jazmín Navarrete Moreta
Dirección: Ladrón de Guevara E11-253 y Andalucía
Teléfono: ***

DATOS DEL PROYECTO

Proyecto: "Estudio del hormigón con fibras naturales de abacá como componente en la dosificación con tratamiento químico"
Contratante: ***
Contratista: ***
Fiscalizador: ***
ELEMENTO: Hormigón simple
NORMA: ASTM C39

No.	Identificación	Fecha fabricación	Fecha rotura	Edad (días)	Diámetro (mm)	Área (mm ²)	Peso* específico (kg/m ³)	Carga Máxima (kN)	Tipo de falla	Defectos	Resistencia	
											(MPa)	± U
1	P1-055 SF	2023-06-28	2023-07-05	7	101,75	8191	2249	151,0	Tipo 2	A	16,6	0,02
2	P2-055 SF	2023-06-28	2023-07-12	14	102,25	8211	2235	216,4	Tipo 2	A	26,3	0,02
3	P3-055 SF	2023-06-28	2023-07-26	28	101,75	8131	2256	247,8	Tipo 5	A	30,4	0,03

Tipo de falla

Tipo 1: Conos en ambos extremos razonablemente bien formados, fisuras a través de la cabecera menor a 25 mm.

Tipo 2: Cono bien formado en uno de los extremos, fisuras verticales que recorren a través de la cabecera, como no muy definido en el otro extremo.

Tipo 3: Fisura vertical columnar a través de ambos extremos, conos no muy definidos.

Tipo 4: Fractura diagonal sin fisuras a través de los bordes golpeados con un martillo para distinguir del Tipo 1.

Tipo 5: Fracturas a los lados en el extremo superior o en el fondo (ocurren comúnmente cuando se ensayan con raspones).

Tipo 6: Similar al Tipo 5, pero el extremo del cilindro está en punta.

Descripción de defectos: A = Ninguno; B = Segregado; C = Porosidad; D = Fisuras preexistentes; E = Otra.

Observaciones: Todos los datos del ítem de ensayo (fecha de fabricación, elemento, identificación) son proporcionadas por el cliente por lo que involucra su total responsabilidad.

Los resultados reportados en el presente informe corresponden únicamente a los ítems ensayados bajo las condiciones del Laboratorio.

U, expresada en MPa, representa la incertidumbre expandida de los resultados.

El tipo de falla y defectos corresponde a lo especificado en la norma ASTM C39.

Los parámetros que se encuentren resaltados con (*) no se encuentran dentro del alcance de acreditación.

Los parámetros de las muestras resaltadas con (*) no se encuentran dentro del alcance de acreditación.

El contenido del presente informe no podrá reproducirse ni parcial ni totalmente sin la autorización del LEMSUR.

Ing. Mercedes Villalca

JEFE DE LABORATORIO



ANEXO XIV. Registro fotográfico de probetas tipo losa de hormigón con adición de fibras de abacá al 1%



PLACA 01-CF-1%. NO MUESTRA AGRIETAMIENTO



PLACA 02-CF-1%. NO MUESTRA AGRIETAMIENTO



PLACA 03-CF-1%. NO MUESTRA AGRIETAMIENTO



PLACA 04-CF-1%. NO MUESTRA AGRIETAMIENTO



PLACA 05-CF-1%. NO MUESTRA AGRIETAMIENTO



PLACA 06-CF-1%. NO MUESTRA AGRIETAMIENTO