

# **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 0.75% COMO COMPONENTE EN LA DOSIFICACIÓN, CON  
TRATAMIENTO QUÍMICO NaOH**

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

**JOSE ANTONIO CHARIGUAMAN CHANATASIG**

**Jose.chariguaman@epn.edu.ec**

**DIRECTOR: NICOLAY BERNARDO YANCHAPANTA GÓMEZ**

**nicolay.yanchapanta@epn.edu.ec**

**DMQ, febrero 2024**

## **CERTIFICACIONES**

Yo, Jose Antonio Chariguaman Chanatasig declaro que el presente 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.

---

**JOSE ANTONIO CHARIGUAMAN  
CHANATASIG**

Certifico que el presente trabajo de integración curricular fue desarrollado por Jose Antonio Chariguaman Chanatasig, bajo mi supervisión.

---

**NICOLAY BERNARDO YANCHAPANTA  
GÓMEZ**

## **DECLARACIÓN DE AUTORÍA**

A través de la presente declaración, afirmamos 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.

Jose Antonio Chariguaman Chanatasig

Nicolay Bernardo Yanchapanta Gómez

## **DEDICATORIA**

A mis amados padres por su gran e inigualable esfuerzo realizado para yo tener la dicha y el privilegio de cumplir este objetivo en tan prestigiosa universidad.

A mis hermanos y hermanas que nunca faltaron su apoyo, sus palabras de motivación y de aliento para no desmayar.

## **AGRADECIMIENTO**

A DIOS, a la vida, a la Escuela Politécnica Nacional y a todas las personas que estuvieron presentes en mi etapa universitaria.

A mi estimado tutor, el ingeniero Nicolay Yanchapanta, por el apoyo brindado en el desarrollo del presente trabajo.

# INDICE DE CONTENIDO

<b>RESUMEN</b> .....	<b>IX</b>
<b>CAPITULO I</b> .....	<b>1</b>
<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>1</b>
<b>1.1 ANTECEDENTES</b> .....	<b>1</b>
<b>1.2 OBJETIVOS</b> .....	<b>2</b>
1.2.1 OBJETIVO GENERAL .....	2
1.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	2
<b>1.3 JUSTIFICACIÓN</b> .....	<b>3</b>
1.3.1 TEÓRICA .....	3
1.3.2 METODOLÓGICA .....	4
<b>CAPITULO II</b> .....	<b>6</b>
<b>MARCO TEORICO</b> .....	<b>6</b>
<b>2.1. EL HORMIGÓN</b> .....	<b>6</b>
<b>2.3 COMPONENTES DEL HORMIGÓN SIMPLE</b> .....	<b>7</b>
2.3.1 Cemento.....	7
2.3.2 Áridos (Grava y Arena).....	7
2.3.3 Agua .....	8
<b>2.4 DOSIFICACIÓN DEL HORMIGÓN</b> .....	<b>8</b>
2.4.1 Factores para tener en cuenta antes de la dosificación del hormigón	9
<b>2.5 Fisuración</b> .....	<b>9</b>
2.5.1 Tipos de fisuración .....	10
2.5.1.1 Antes del endurecimiento .....	11
2.5.1.2 Después del endurecimiento .....	13
2.5.2 Métodos de controlar las fisuras en el hormigón .....	14
<b>2.6 ABACÁ</b> .....	<b>15</b>

2.6.1	Usos del abacá.....	17
2.6.2	Composición .....	17
2.6.3	Tratamiento químico.....	18
<b>CAPITULO III.....</b>		<b>19</b>
<b>3.</b>	<b>METODOLOGÍA .....</b>	<b>19</b>
<b>3.1</b>	<b>OPTENCIÓN DE MATERIALES.....</b>	<b>19</b>
3.1.1	Cemento.....	19
3.1.2	Agregado grueso y agregado fino.....	19
3.1.3	Fibra natural de abacá.....	19
<b>3.2</b>	<b>ENSAYOS A LOS COMPONENTES DEL HORMIGON.....</b>	<b>20</b>
3.2.1	Análisis granulométrico .....	20
3.2.1.1	Agregado grueso .....	20
3.2.1.2	Agregado fino .....	21
3.2.1.3	Determinación de la Densidad, Densidad Relativa (Gravedad Específica) y Absorción del Agregado Grueso. ....	21
3.2.1.4	Densidad aparente.....	23
3.2.1.5	Módulo de finura.....	25
3.2.2	Fibra natural abacá .....	25
3.2.2.1	Longitud de fibra. ....	25
3.2.2.2	Tratamiento químico. ....	26
3.2.2.3	Contenido de humedad.....	28
3.2.2.4	Absorción de la fibra con tratamiento de NaOH. ....	29
3.2.2.5	Ensayo para la determinación de las propiedades físicas y mecánicas.....	30
3.2.2.6	Cálculo de la tenacidad de rotura .....	31
3.2.2.7	Cálculo de la elongación.....	31

<b>3.3</b>	<b>Dosificación de agregados para el concreto .....</b>	<b>32</b>
3.3.1	Resistencia requerida.....	32
3.3.2	Asentamiento .....	32
3.3.3	Agua teórica .....	32
3.3.4	Tamaño máximo nominal del agregado.....	33
3.3.5	Relación agua cemento .....	33
3.3.6	Factor y volumen de cemento .....	33
3.3.7	Corrección de humedad .....	34
<b>3.4</b>	<b>Elaboración de probetas a ensayar .....</b>	<b>34</b>
3.4.1	Probetas de hormigón patrón.....	34
3.4.2	Probetas de hormigón con fibra natural de abacá como componente en la dosificación.....	35
3.4.3	Ensayos realizados a las probetas.....	38
3.4.3.1	Resistencia a la compresión.....	38
3.4.3.2	Resistencia a la flexión .....	40
3.4.3.3	Proceso de secado de losetas.....	42
<b>CAPITULO IV.....</b>		<b>44</b>
<b>4.</b>	<b>RESULTADOS, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</b>	<b>44</b>
4.1	Resultados de los ensayos realizados a los componentes del hormigón.....	44
4.1.1	Resultados de agregados fino y grueso .....	44
4.1.2	Resultados de las fibras vegetales de abacá.....	46
4.2	Dosificación (cantidades de los componentes del hormigón) .....	46
4.3	Resultados de las probetas (cilindros, vigas y placas).....	48
4.3.1	Cilindros .....	48
4.3.2	Vigas .....	50
4.3.3	Placas .....	51
4.4	CONCLUSIONES.....	53
4.5	RECOMENDACIONES .....	54
5.	BIBLIOGRAFÍA.....	55
6.	ANEXOS .....	60



<b>6.1</b>	<b>Anexo A. tablas.....</b>	<b>60</b>
<b>6.2</b>	<b>Anexo B. figura 13.....</b>	<b>63</b>
<b>6.3</b>	<b>Anexo C. resultado de losetas con fibra de abacá al 0.75%.....</b>	<b>65</b>

## **RESUMEN**

El presente texto describe cómo influye el uso de fibra natural, en este caso abacá, como adición en la dosificación del hormigón para disminuir la presencia de fisuras una vez el hormigón se haya secado. Sabiendo que el hormigón tiene características mínimas de elasticidad se hace uso de materiales que su principal característica sea la elasticidad, como es el caso de la fibra de abacá y para hacer uso de esta se tomó la decisión de hacerlo bajo un tratamiento químico previo con hidróxido de sodio al 4% siendo este de ayuda para eliminar impurezas orgánicas que puedan afectar al hormigón.

Se hizo uso de probetas cilíndricas, vigas y losetas para estudiarlas a compresión, flexión y la presencia de fisuras respectivamente. La inserción de la fibra de abacá en la dosificación del hormigón está en función de la masa del agregado grueso y se trabajó con una resistencia mínima de  $210 \text{ kgf/cm}^2$  garantizando que este sea un hormigón comercial.

## **ABSTRACT**

This text describes the influence of the use of natural fiber, in this case abaca, as an addition in the dosage of concrete to reduce the presence of cracks once the concrete has dried. Knowing that concrete has minimum elasticity characteristics, the use of materials whose main characteristic is elasticity, as is the case of abaca fiber, was used, and to make use of it, the decision was made to do it under a previous chemical treatment with 4% sodium hydroxide, which helps to eliminate organic impurities that may affect the concrete.

Cylindrical specimens, beams and slabs were used to study them in compression, bending and the presence of cracks, respectively. The inclusion of abaca fiber in the concrete dosage is a function of the mass of the coarse aggregate and a minimum resistance of 210 kgf/cm<sup>2</sup> was used to guarantee that this is a commercial concrete.

# CAPITULO I

## INTRODUCCIÓN

### 1.1 ANTECEDENTES

Las estructuras de concreto se utilizan mucho hoy en día debido a su bajo precio, alta resistencia a la compresión y buena durabilidad. Y a menudo el concreto inevitablemente se agrietará debido a la carga, factores humanos y condiciones ambientales adversas como incendios, terremotos, tormentas y nieves, es por esto por lo que la determinación del comportamiento de la probeta y la detección de la fractura del hormigón mediante experimentos de laboratorio es fundamental. Por lo tanto, es esencial detectar, cartografiar y cuantificar el proceso de agrietamiento. (Li et al., 2020) Sin embargo, la mayoría de las técnicas existentes que establecen esta falla son empíricas. Normalmente se utiliza un diseño rectilíneo basado en inspección visual para describir el patrón de rotura y una lupa de calibre o una regla de anchura de grieta para medir la anchura de grieta y como resultado la mayoría de las técnicas convencionales de caracterización y monitorización de grietas siguen siendo laboriosas, arbitrarias y sensibles al error humano. (S & S, 2023)

El material de construcción, hormigón reforzado con fibra se compone principalmente de dos materiales diferentes, uno es el hormigón como tal y el otro es la fibra, la cual puede ser sintética o natural, juntos forman un material de construcción. (Wietek, 2021) El comportamiento mecánico de los componentes del concreto está influenciado por las características de las interfases de los agregados de mortero, la iniciación y propagación de las grietas en el hormigón pueden influir en el comportamiento global del material puesto que mejora con superficies de agregados más rugosas. (Buyukozturk, 1998)

Para analizar esta problemática se ha planteado en esta investigación el estudio del comportamiento de la fibra natural abacá incorporando en un 0.75% en función de la masa de agregado grueso como parte de los agregados del hormigón para disminuir la presencia de fisuras. Según (Passuello et al., 2009) con un diseño de mezcla adecuado y proceso de construcción apropiado, el cual incluye mezcla,

vaciado, vibración y curado, el hormigón puede ser un material razonablemente duradero. Sin embargo, la contracción por secado restringida puede ser una causa de fisuramiento e incluso agrietamiento en el concreto, creando una vía libre para sustancias desfavorables que pueden provocar un detrimento precoz siendo un problema crítico en términos de durabilidad generado por el progreso de tensiones de tracción debido a la restricción de movimiento a la que está sometida el hormigón.

## **1.2 OBJETIVOS**

### **1.2.1 OBJETIVO GENERAL**

Disminuir la formación de fisuras en el concreto, causadas por la retracción plástica, empleando fibras naturales de abacá agregadas al 0.75% en peso del agregado grueso, previamente tratadas con hidróxido de sodio (NaOH).

### **1.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Cuantificar una dosificación para obtener un hormigón de una resistencia de no menor a 210 kgf/cm<sup>2</sup> con la inclusión de la fibra de abacá.
- Evaluar las características físicas y mecánicas de la fibra de abacá tratada químicamente y no tratada químicamente.
- Comparar la resistencia del hormigón con y sin fibra mediante ensayos de cilindros a compresión y vigas a flexión.
- Visualizar el desempeño de la fibra de abacá en las losetas de hormigón utilizando una cámara de viento que controla la velocidad y temperatura.

## 1.3 JUSTIFICACIÓN

### 1.3.1 TEÓRICA

“Debido a su amplio uso global, el concreto es el material de construcción más monopolizado en infraestructuras, siendo un componente clave en la construcción de edificios debido a sus muchas ventajas, incluido su bajo costo, propiedades mecánicas y durabilidad adecuada” (Vieira et al., 2016). Este material compuesto, está formado por cemento, áridos, agua y en algunos casos con productos químicos y en balance con otros materiales de construcción como el metal y la madera, el hormigón no es inflamable, es resistente a la oxidación, a la putrefacción, refleja el calor, es aislante y robusto, pero su accesibilidad y asequibilidad es su principal ventaja (Tayebani et al., 2023).

“La formación y el crecimiento de las fisuras, micro fisuras y grietas en el hormigón están asociadas con la liberación de energía de deformación” (Ohno et al., 2014), por lo que las fisuras por contracción plástica se originan como resultado de la merma de agua por la evaporación desde la superficie del concreto recién colocado o por la succión del concreto seco situado debajo, diversos estudios experimentales muestran que la incorporación de cenizas de fondo de carbón (CBA) como sustituto de la arena en la producción de hormigón tiene un efecto notable sobre la contracción plástica del hormigón fresco (Singh, 2018).

En la capa superficial, este fenómeno se manifiesta cuando la tasa de evaporación trasciende la tasa de fraguado. Este proceso conlleva a tensiones de tracción en las capas externas, ya que estas se ven restringidas por el hormigón interno que no experimenta contracción. Dado que el hormigón presenta una baja tenacidad a la tensión o una capacidad de deformación limitada en su estado plástico, se facilita la formación de fisuras. Dicho de otro modo, las fisuras resultantes de la contracción plástica son más frecuentes en las losas y tienden a aparecer de manera aleatoria y diagonal (Brooks, 2007). En efecto el presente estudio tiene por objeto principal el hacer uso de fibra vegetal abacá en el hormigón para añadir un extra de resistencia a la tracción y disminuir en gran medida la presencia de fisuras.

### 1.3.2 METODOLÓGICA

En la actualidad, es fundamental encontrar un balance entre la resistencia requerida y la utilización de materiales de construcción ligeros. Tanto las fibras sintéticas como las naturales desempeñan un papel crucial en la ingeniería moderna, mejorando las características mecánicas de componentes estructurales, como la resistencia a la tracción y al impacto. (Olivera Pérez et al., 2022). En la actualidad, se ha percibido un aumento en la ocupación de fibras naturales como elemento de refuerzo en materiales de construcción. Esto se debe a sus numerosas características beneficiosas, que incluyen su rigidez, ligereza, asequibilidad y su naturaleza respetuosa con el medio ambiente (Elbehiry et al., 2020). El uso de fibra de abacá emerge como una opción promisoriosa y eco-amigable para reforzar los cimientos de agregados en la construcción, proporcionando una mejora notable en la resistencia y longevidad de las estructuras. (Técnicas Aplicadas et al., 2023).

“Uno de los principales problemas de las fibras naturales es su naturaleza hidrófila, ya que, debido a esta, el material es propenso a la degradación cuando se expone a diversas condiciones ambientales” (Delicano, 2018).

Según (Cao et al., 2006) El tratamiento con NaOH es uno de los procedimientos químicos más eficaces que ayuda a combatir la degradación de las fibras naturales. Este procedimiento cumple con dos propósitos principales: en primer lugar, eliminar las impurezas presentes en las fibras derivadas de la planta, tanto durante el proceso de deshoje (aceite, agua, pulpa, etc.) como durante su almacenamiento (suciedad, polvo, etc.). Además, protege contra la agresión microbiana por parte de hongos y levaduras. (Juárez Alvarado et al., 2004) Y segundo, ofrece protección a las fibras contra el deterioro causado por la elevada alcalinidad de la pasta.

## 1.4 Tamaño de muestra

La prueba de resistencia será el resultado de promediarse al menos dos probetas de 150x300 mm, o tres probetas de 100x200 mm, todas realizadas de la misma muestra de hormigón y evaluadas a los 28 días o en la edad requerida para determinar la resistencia característica (ACI 318-08 5.6.2.4).

Según García-García et al. (2013) “Incluir un exceso de tamaño de muestra encarece significativamente el estudio en diversos aspectos. Por otro lado, un estudio con un tamaño de muestra insuficiente calculará un parámetro con baja precisión, lo que podría llevar a conclusiones incorrectas”

La determinación de la cantidad de muestra toma en cuenta el tipo de diseño de investigación, que puede ser fijo o variable. Aunque se presupone una distribución normal de las variables, hay herramientas estadísticas disponibles para analizar datos en otros casos. La selección de una muestra se realiza principalmente para realizar inferencias estadísticas sobre parámetros de una población específica. (García-García et al., 2013).

Para calcular la cantidad de muestras, se aplica la regla empírica propuesta por Peter Westfall y Kevin Henning. Resolviendo la variable correspondiente a la cantidad de muestras, se obtiene la siguiente expresión.

$$n = \frac{Z^2 * P(1 - P)}{c^2} \quad \text{Ec. (1)}$$

Donde:

- Z= Nivel de confianza.
- n= Tamaño de muestra.
- P= Variabilidad en función de la muestra.
- c= Margen de error (valor asumido)

El nivel de confianza se reseña a la posibilidad de que la media de los resultados se sitúe dentro del intervalo de confianza. Un nivel de confianza aceptable generalmente es del 90% o más.



## **CAPITULO II**

### **MARCO TEORICO**

#### **2.1. EL HORMIGÓN**

Denominado concreto en algunas áreas geográficas, representa uno de los materiales de construcción más esenciales y adaptables en la historia de la humanidad. El aumento en la fabricación de hormigón, que se traduce directamente en una mayor demanda de cemento, está provocando un incremento en la extracción de piedra caliza de las colinas. Este proceso está ocasionando la degradación del paisaje natural y la pérdida de hábitats para la vida silvestre. (Muthusamy et al., 2024). Su capacidad para soportar cargas, su durabilidad y su versatilidad lo han posicionado como un componente crucial en el ámbito de la construcción.

#### **2.2 La fibra natural en el hormigón**

En la actualidad, el crecimiento de los desafíos económicos, sociales y medioambientales resalta la necesidad imperativa de emplear materiales de construcción que sean tanto sostenibles como económicos. La utilización de materias primas derivadas de desechos vegetales y de materiales que se adquieren sin esfuerzo ni necesidad de mano de obra especializada conlleva numerosos beneficios tanto ambiental como económico (Elbehiry et al., 2020).

A lo través de la historia, se ha empleado diversas fibras para fortalecer diferentes materiales de construcción. Sin embargo, solo en épocas recientes, los científicos han comenzado a investigar detenidamente las fibras naturales como material de refuerzo. Previamente, estas fibras se utilizaban principalmente en la fabricación de ropa, colchones y cobijas. La disponibilidad significativa de fibras

naturales en diversos países en desarrollo las convierte en una fuente renovable constante (Juárez Alvarado et al., 2004).

“Varios estudios realizados a cerca de la adición de fibra vegetal como componente en la dosificación de hormigón concluyeron que entre el 0.5% y 0.6% es la cantidad óptima para el buen desempeño y mejora de las propiedades del hormigón” (Anthony et al., 2020; Técnicas Aplicadas et al., 2023).

## **2.3 COMPONENTES DEL HORMIGÓN SIMPLE**

El hormigón simple es una mezcla básica de materiales de construcción que se utiliza en una variedad de aplicaciones. Los componentes principales del hormigón simple son:

### **2.3.1 Cemento**

El cemento Portland es el tipo más comúnmente manejado en la elaboración de hormigón simple. Es un polvo fino que se genera a partir de la mixtura de caliza, arcilla y otros materiales crudos, que, al combinarlo con agua, crea una pasta que sirve como aglutinante para otros materiales.

### **2.3.2 Áridos (Grava y Arena)**

La grava y la arena son los áridos que proporcionan resistencia al hormigón. La grava es utilizada para darle a la mezcla una mayor resistencia, mientras que la arena contribuye a la trabajabilidad del hormigón. Estos elementos provienen de un procedimiento de manufactura, obtenidos de lechos y márgenes de ríos naturales, conformados principalmente por partículas de dolomita, basalto, dacita, andesita,

riolita, arenisca, cuarzo y cuarcita. (Valdés & Rapimán, 2007). La norma NTE INEN 872 (2011) referente a "Áridos para hormigón. Requisitos" especifica los procedimientos de prueba que deben llevarse a cabo con los agregados destinados al hormigón.

### **2.3.3 Agua**

Es esencial para la hidratación del cemento y la formación de la pasta. La cantidad de agua utilizada afecta la trabajabilidad y la resistencia del hormigón. Es fundamental resaltar que el agua empleada debe cumplir con estándares de calidad potable, lo que implica que no debe contener elementos que puedan perjudicar la mezcla de hormigón. Esto implica prevenir la presencia de sustancias como aceites, compuestos orgánicos, ácidos, alcalinos, entre otros, conforme a las especificaciones de la Norma NTE INEN 1108:2020.

## **2.4 DOSIFICACIÓN DEL HORMIGÓN**

La dosificación del hormigón tiene por finalidad determinar cuáles son las proporciones exactas de combinación de sus diferentes componentes para conseguir la MEZCLA PERFECTA y que posean las características de durabilidad, resistencia, compacidad y resistencia idóneas y acordes a la obra (*Dosificación Del Hormigón - ¿Que Hay Que Saber? | BECOSAN®, n.d.*).

En la actualidad existe varios métodos de dosificación, sin embargo, en este estudio se llevó a cabo en base a lo establecido por norma ACI 211.1-91, ya que, a diferencia de este, los otros métodos son más empíricos (Andrés et al., n.d.). No obstante, debido a que este método no es completamente preciso, se lleva a cabo un proceso de prueba y error. Si la dosificación inicial no cumple con las especificaciones requeridas, se realizan ajustes según sea necesario.

### **2.4.1 Factores para tener en cuenta antes de la dosificación del hormigón**

Como establece ( DOSIFICACION de Hormigones: TODOS Los Métodos | MECACON, n.d.)Garantizar la durabilidad de la obra es de vital importancia, es por esto por lo que una vez establecida la resistencia del hormigón se debe tener en cuenta los siguientes factores:

- Condiciones ambientales a los que estará sometida la obra.
- Los equipos de fabricación a usar.
- Cemento: tipo, categoría y peso específico.
- Granulometría y calidad de los áridos, procedencia o forma.
- Aditivos (en caso de que se pretenda mejorar o modificar las características del hormigón).

Se calculó la dosificación inicial considerando el volumen total necesario. Se realizaron seis ensayos para cilindros, seis para vigas y seis para placas, todos con una adición de fibra del 0.75%. También se llevaron a cabo tres probetas de hormigón simple para cada elemento, con el propósito de comparar sus propiedades.

## **2.5 Fisuración**

La fisuración es un fenómeno físico que revela la incapacidad del material (como el hormigón) para resistir esfuerzos de tracción. La presencia de grietas, ya sean grandes o que excedan los límites aceptables, indica simplemente la aparición de esfuerzos en puntos de la estructura que no estaban previamente considerados. Aunque una grieta no siempre conduce a la ruina o a la inoperatividad del edificio, puede ser un indicio de un colapso próximo. Por lo tanto, es crucial realizar un diagnóstico preciso de las grietas para comprender tanto su origen como su posible evolución futura (*TIPOS DE FISURAS EN EL HORMIGÓN ARMADO - ISOSTATIKA, 2021*).

Para endosar la seguridad y la confiabilidad del servicio de la infraestructura civil es importante inspeccionar y evaluar visualmente su condición física y funcional. La inspección visual manual es la principal metodología actual para evaluar las condiciones físicas y funcionales de la infraestructura civil a intervalos regulares con el fin de que cumpla los parámetros de servicio esperados (Koch et al., 2015). A pesar de esto, persisten problemas relacionados con inspecciones insuficientes, por ejemplo, como se evidenció en el colapso del puente I-35W en Minneapolis en 2007, que resultó en 13 muertes y 145 heridos. El informe del accidente señaló deficiencias en las guías de inspección para detectar distorsiones en la placa de refuerzo y el uso inadecuado de tecnologías para evaluar con precisión el estado de las cartelas en puentes de celosía de cubierta al no detectar las fisuras por cizallamiento (Zhu et al., 2010).

Es fundamental realizar evaluaciones continuas del estado físico y funcional de la infraestructura civil para prevenir accidentes. Dichas evaluaciones son llevadas a cabo manualmente por inspectores certificados o ingenieros estructurales, ya sea en inspecciones rutinarias o posteriores a desastres. Este proceso implica la identificación de defectos y daños, como fisuras, desconchados, uniones defectuosas, corrosión y baches, en elementos como edificios, puentes, túneles, tuberías y carreteras. Los resultados obtenidos, que incluyen la magnitud de los defectos, son cruciales para prever condiciones futuras, respaldar la planificación de inversiones y asignar recursos de mantenimiento y reparación, asegurando así que la infraestructura civil cumpla con sus requisitos de servicio (Koch et al., 2015). Las grietas en el concreto, de los defectos previamente señalados, guardan una relación directa con la integridad de los componentes que sustentan cargas en el sistema, siendo, por ende, de vital importancia en el contexto del monitoreo de la salud estructural (Kolappan Geetha & Sim, 2022).

### **2.5.1 Tipos de fisuración**

Tipos de fisuras en el hormigón					
Antes del endurecimiento		Después del endurecimiento			
Plásticas	Movimientos durante la ejecución	Físicas	Químicas	Térmicas	Estructurales
Retracción plástica	Movimiento del encofrado	Áriscos con retracción	Corrosión del acero	Ciclos hielo-deshielo	Sobrecarga accidental
Asentamiento plástico	Movimiento de la subbase	Retracción del secado	Retracción árido-alcalis	Estacionales de temperatura	Fluencia
		Afogadazo	Carbonatación del cemento	Contracción térmica temprana	Cargas de cálculo

**Figura 1.** Tipos de fisuras de acuerdo con el estado del hormigón.

**Fuente:** (TIPOS DE FISURAS EN EL HORMIGÓN ARMADO - ISOSTATIKA, 2021)

### 2.5.1.1 Antes del endurecimiento

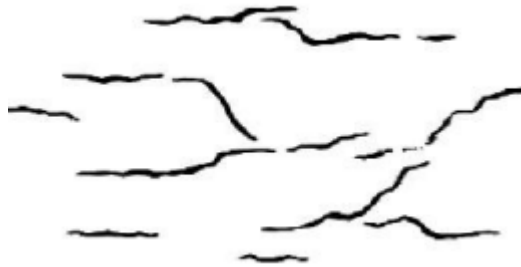
#### 1. Retracción plástica

Las grietas derivadas de la retracción plástica aparecen cuando el concreto experimenta una pérdida rápida de humedad, influenciada por factores como la temperatura ambiente, la temperatura interna del concreto, la humedad relativa y la velocidad del viento en su superficie. La combinación de estos factores puede aumentar la evaporación superficial, tanto en climas cálidos como en climas fríos. En resumen, las fisuras originadas por la retracción plástica se deben a la rápida evaporación del agua de la superficie del concreto antes de que se endurezca completamente. (Parker, 2005).

Los factores que generan altas velocidades de evaporación en la superficie del concreto incluyen:

- Rapidez del viento mayor a 8km/h.
- Baja humedad relativa.
- Elevadas temperaturas ambientales y del concreto.

Estas fisuras por lo general aparecen en superficies horizontales luego del vaciado y mientras permanece en estado plástico, son poco profundas pero anchas, forman patrones poligonales aleatorios o paralelas entre sí.



**Figura 2.** Representación de fisuras por retracción plástica.

**Fuente:** (Parker, 2005).

## 2. Asentamiento plástico

Las fisuras causadas por el asentamiento plástico se manifiestan de 10 minutos a 3 horas después de la colocación del concreto en el elemento estructural. Según Toirac Corral, (2004) “en ese momento los componentes sólidos de la mezcla tienen una propensión a sedimentarse debido a la acción de la gravedad, desplazando los elementos menos densos, como el agua y el aire atrapado”. Esto resulta en el ascenso de agua a la superficie en forma de exudación, y el proceso de asentamiento continúa hasta que el hormigón alcanza su nivel de endurecimiento. Estas fisuras pueden tener un ancho considerable en la superficie, oscilando entre 0,5 y 2 mm y a medida que el concreto exuda más (debido a un mayor asentamiento o a la incorporación de agua no controlada durante la construcción), aumenta el riesgo de desarrollo de fisuras (Ms.Ing.Segerer, 2008).

Las condiciones que provocan este tipo de fisuras son las siguientes:

- Bajos recubrimientos.
- Excesivos diámetros de refuerzo.
- Mezcla fluida.

La existencia de obstáculos como barras de refuerzo de acero, grandes piedras o elementos incrustados en el hormigón puede obstaculizar la disposición adecuada

de la mezcla, lo que conduce a asentamientos plásticos desiguales y favorece la aparición de fisuras. (Toirac Corral, 2004).



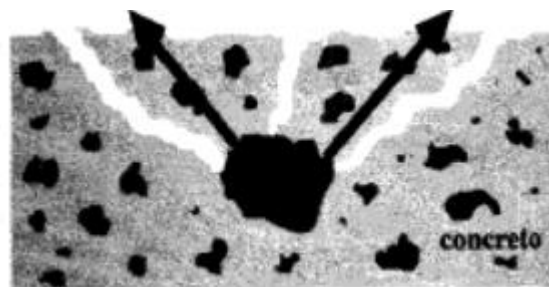
**Figura 3.** Representación de fisuras por acomodamiento plástico.

**Fuente:** (Toirac Corral, 2004)

### 2.5.1.2 Después del endurecimiento

#### 1. Corrosión

Las fisuras originadas por corrosión muestran una dirección paralela al acero afectado, siendo común la presencia de manchas de óxido a lo largo de su recorrido, al rodearse de óxido el acero, este provoca una expansión originando fisuras y, posterior a eso, el desintegramiento del hormigón circundante (Toirac Corral, 2004).



**Figura 4.** Representación de fisuras por corrosión del acero.

**Fuente:** (Toirac Corral, 2004)



## 2. Carbonatación

Según Toirac Corral, (2004) las contracciones por carbonatación se dan cuando el hormigón se expone al ambiente, siendo suficiente para que interactúe con el dióxido de carbono en forma de gas presente en el ambiente y junto con la humedad del hormigón se convierta en ácido carbónico, reaccionando con los hidróxidos del hormigón, en concreto con el hidróxido de calcio que junto con una liberación de agua presenta una merma de volumen, provocando una retracción gradual del hormigón que sumado a la retracción por secado genera y aumenta las grietas con mucha rapidez.

## 3. Retracción térmica

Se trata de una variación en la contracción del concreto, derivada de tensiones locales producidas por discrepancias térmicas entre el concreto y su entorno. De manera similar a la retracción hidráulica, las grietas se desarrollarán cuando la contracción alcance un punto de equilibrio entre la máxima resistencia del material a romperse bajo tracción y su capacidad para deformarse.

## 4. Dilatación térmica

Es la modificación en la dilatación del concreto, igualmente causada por las disparidades térmicas entre el concreto y su ambiente circundante. De manera análoga a lo mencionado en relación con las retracciones, las grietas se formarán cuando la medida de expansión coincida con la relación entre la fuerza máxima que puede soportar el material bajo compresión y su capacidad para deformarse. Las fisuras ocasionadas por las expansiones son menos usuales que las causadas por la retracción, ya que la resistencia a la compresión es considerablemente más alta que la resistencia a la tracción.

### **2.5.2 Métodos de controlar las fisuras en el hormigón**

Un enfoque efectivo para fortalecer el aguante al agrietamiento del hormigón implica la adición de fibras. Las fibras cortas, distribuidas de manera aleatoria y con un alto módulo elástico en el hormigón, funcionan como micro barras de acero al transferir tensiones y absorber energía cuando se someten a tensiones de tracción.

Esto conduce a una mejora tanto en la resistencia a la tracción como en la capacidad de disminuir el agrietamiento del hormigón. Además del tipo de fibra, la longitud de la fibra también forma un papel importante al influir en la resistencia al agrietamiento del hormigón (Wang et al., 2021).

La investigación de Banthia & Gupta, (2006) realizada en las fibras de polipropileno (PP) determinaron que la influencia del tamaño de la fibra en el agrietamiento debido a la contracción plástica en hormigón de alta resistencia, aproximadamente 907 kg/cm<sup>2</sup> llegaron a la conclusión de que en tres fracciones de volumen (0,1%, 0,2% y 0,3%), las fibras de PP más largas (12,5 mm) resultaron más eficaces en la reducción de áreas y anchos de grietas en comparación con las fibras de PP más cortas (6,35 mm).

En cuanto a fibra natural otro estudio demuestra resultados similares observando que al emplear distintas cantidades de fibra (0,3% y 0,6% en relación con el peso del aglutinante), se observó que la influencia de la fibra de lino más extensa (50 mm) era más notable en la disminución de la concentración de tensiones y la cantidad de grietas en superficies con un alto contenido de arcilla en comparación con la fibra más corta (12 mm).

## **2.6 ABACÁ**

También llamado cáñamo de Manila, esta fibra se deriva de una planta similar a la del plátano, que principalmente crece en Filipinas, Ecuador y Costa Rica con propósitos comerciales. La obtención de la fibra se da de las hojas que forman el tallo de la planta. (*Future Fibres: Abacá*, 2018).

Se trata de una fibra vegetal compuesta por células alargadas y esbeltas que constituyen parte de la estructura de soporte de la hoja. La mayor parte del abacá se destina a la fabricación de papeles especializados utilizados en bolsas de té, filtros para café, entre otros productos (Constâncio Trindade et al., 2023).



**Figura 5.** Proceso de extracción de la fibra de abacá.

**Fuente.** (*El Abacá - Terranova Papers, n.d.*)

Las fibras de dicha planta exhiben características como elasticidad, durabilidad y resistencia a la salinidad y a la tracción. También muestran resistencia a la descomposición en el agua, lo que las hace durables en ambientes acuáticos. La fibra de abacá es altamente apreciada debido a que se la considera una de las más resistentes entre las fibras naturales, siendo tres veces más fuerte que el sisal y por el largo de su fibra de hasta 3 m. Esta es una de las mejores fibras naturales y se cree que es más resistente a la descomposición del agua salada que cualquier otra fibra vegetal (Hakeem et al., 2015).

Filipinas pionero a nivel mundial en la producción de abacá, con aproximadamente 130.000 hectáreas cultivadas por alrededor de 90.000 familias campesinas. Pero también se produce en muchos países del sudeste asiático, Ecuador se posiciona como el segundo mayor productor, destacando por la presencia de grandes fincas y un aumento progresivo en la mecanización de la producción.

Según Future Fibres: Abacá, (2018). las mejores fibras del abacá presentan las siguientes características:

- Muy delgadas.
- Brillantes.

- Mantienen un tono muy claro.
- Son resistentes a la tracción.

### **2.6.1 Usos del abacá**

En el siglo XIX, el abacá experimentó un extenso uso en aparejos de barcos, y su pulpa se destinaba a la fabricación de sobres robustos de papel manila. En la actualidad, sigue siendo empleado en la confección de cuerdas, betas, cordeles, redes de pesca entre otros, también en la elaboración de tela bastarda para sacos. Aunque ha surgido un mercado enfocado en prendas de vestir, cortinas, pantallas y tapicería fabricados con abacá, su principal aplicación sigue siendo la producción de papel (*Future Fibres: Abacá*, 2018). También el abacá se emplea en la industria automotriz para aplicaciones más suaves, como relleno para cojines y asientos. Sin embargo, debido a su notable resistencia a la tensión, también puede utilizarse en aplicaciones más robustas, sirviendo como suplente de la fibra de vidrio para la fabricación de componentes exteriores de plástico reforzado.

En este estudio se dio uso de la fibra de abacá como componente del hormigón con la finalidad de mejorar sus propiedades de resistencia a la tracción la cual es causante de la presencia de fisuras en el hormigón.

### **2.6.2 Composición**

“Las propiedades físicas y mecánicas de estas fibras dependen en gran medida de su composición química” (Castoldi et al., 2022). Las fibras vegetales presentan una estructura compleja compuesta por numerosas células fibrosas que albergan microfibrillas de celulosa cristalina. Estas microfibrillas están interconectadas por sustancias amorfas como lignina, hemicelulosa, pectina, ceras, grasas, sales minerales e impurezas. La composición de estas sustancias varía según la especie de planta, el clima y el grado de madurez (Constâncio Trindade et al., 2023).

### **2.6.3 Tratamiento químico**

“El contenido de humedad de la fibra seca debe ser inferior al 14 % para evitar el deterioro y daño microbiano causado por mohos y hongos” (Hakeem et al., 2015, p107). (Constâncio Trindade et al., 2023) “mencionan que numerosos estudios han investigado la durabilidad a largo plazo de las fibras naturales en aglutinantes cementosos, abordando los desafíos de los tratamientos de las fibras”. Se utilizan diversos métodos para el tratamiento químico de fibras con el objetivo de mejorar su aspecto y resistencia. Castoldi et al. (2022) desarrollaron un método eficaz utilizando la inmersión en NaOH para reducir la absorción de humedad de la fibra. Y es este el tratamiento con el que se trabajó en este estudio.

La mayor restricción al utilizar fibras vegetales como refuerzo radica en su tendencia a absorber humedad en exceso y su baja afinidad con el material que se está reforzando. Para mitigar este problema, se optó por disminuir la polaridad de las moléculas de celulosa eliminando la capa superficial de la fibra, lo que mejora la capacidad de adherencia.

## **CAPITULO III**

### **3. METODOLOGÍA**

La presente investigación experimental se desarrolló en base a las normativas internacionales más frecuentes utilizadas para la elaboración o producción de hormigón las cuales son ACI American Concrete Institute, ASTM American Society for Testing and Materials y NTE INEN Norma Técnica Ecuatoriana las cuales nos dieron la guía para realizar todos los ensayos necesarios a todos los componentes utilizados en la investigación, concreto que incorpora fibras de origen vegetal llamada abacá tratada con NaOH como parte de su composición, los cuales fueron: aglutinante (cemento portland tipo I), agregados grueso (chispa) y fino(arena) y fibra natural (abacá).

#### **3.1 OPTENCIÓN DE MATERIALES**

##### **3.1.1 Cemento**

Se obtuvo de la localidad, ciudad de Quito, el cemento portland tipo I el cual se rige a la normativa NTE INEN 2380 (2011), el cemento Portland es una sustancia en forma de polvo muy fino, compuesta principalmente por silicatos de calcio y en menor proporción por aluminatos de calcio, que ha sido minuciosamente pulverizada.

##### **3.1.2 Agregado grueso y agregado fino**

Los agregados fueron adquiridos de la empresa de agregados Holcim, con ubicación al norte de la ciudad de Quito en el Km 4.5 vía Pifo Papallacta los cuales mantienen su calidad bajo los estándares de las normas NTE INEN regidas en el Ecuador.

##### **3.1.3 Fibra natural de abacá**

Fue adquirida de un proveedor de la ciudad de Santo Domingo. En Ecuador según Totoy Benavides, (2007) la fibra de abacá en 5 clases y su sistema de clasificación

se rige a la tonalidad y al diámetro de la fibra, en donde la clase 1 es la de mejor calidad siendo esta una fibra limpia de menor diámetro y de una tonalidad más clara, a diferencia de la clase 5 siendo esta la de menor calidad, fibras gruesas y oscuras. Para el desarrollo de esta investigación se usó la fibra de clase 5 ya que la investigación de (Mora Muñoz et al., 2021) dice que las fibras de categorías 1, 2 y 3 tienen comportamientos estables a fuerzas de tracción pero la fuerza de tracción y el porcentaje de elongación de las categorías 4 y 5 aun cuando tienen un comportamiento disperso, son mayores que las otras clases lo cual beneficia mucho para el propósito de la investigación y otra ventaja bastante importante es su precio que es el más económico de todas las clases de fibra.

## **3.2 ENSAYOS A LOS COMPONENTES DEL HORMIGON**

### **3.2.1 Análisis granulométrico**

Este procedimiento de evaluación se emplea para calcular la distribución de tamaño de los agregados destinados a ser utilizados como componentes en el hormigón. Los datos obtenidos se emplean para verificar si las partículas cumplen con los requisitos de granulometría especificados. Siguiendo la norma ASTM C136/C136M-19 y NTE INEN 696:2011.

#### **Equipos**

- Balanza.
- Tamices, que cumplan con la NTE INEN 154.
- Agitador de tamices mecánico.
- Horno, de una temperatura uniforme de  $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ .

#### **3.2.1.1 Agregado grueso**

##### **Muestreo**

Áridos gruesos: El tamaño de muestra de ensayo de áridos gruesos deberá ajustarse a la tabla 1 referida en el anexo A.

## **Procedimiento**

- Una vez medida la cantidad de masa de la muestra, esta se somete a un proceso de secado en horno a una temperatura de  $110\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$  durante 24 horas o hasta que la muestra alcance una masa constante.
- Organizar los tamices en orden descendente y la bandeja receptora en la parte inferior.
- Después de depositar la muestra en el tamiz superior, se cubre con la tapa correspondiente y se trasladan los tamices al agitador mecánico, donde se permite que operen durante un mínimo de cinco minutos.
- Después de retirar los tamices del agitador mecánico, se procede con cuidado a anotar la masa retenida en cada uno de ellos, asegurándose de evitar la dispersión del agregado fuera del recipiente de pesaje. Es crucial que la pérdida de material sea menor al 0,3% de la cantidad inicial para garantizar la validez del resultado.

### **3.2.1.2 Agregado fino**

#### **Muestreo**

La muestra requerida para el agregado fino varía entre un mínimo de 300 gramos y un máximo de 500 gramos.

#### **Procedimiento**

- Este es el mismo descrito para la determinación del agregado grueso con la diferencia de que se utiliza otra numeración de tamices y la tamización se la puede hacer manualmente.

### **3.2.1.3 Determinación de la Densidad, Densidad Relativa (Gravedad Especifica) y Absorción del Agregado Grueso.**

La absorción se refiere al incremento de masa del material sometido a prueba causado por la entrada de agua en los poros de una partícula durante un tiempo específico. Este proceso no tiene en cuenta el agua que se adhiere a la superficie



del agregado grueso. Según la norma NTE INEN 857:2010, las densidades que deben determinarse son las siguientes:

- (SH): Densidad seca al horno.
- (SSS): Densidad saturada superficialmente seca.
- SH: Densidad relativa (gravedad específica).
- SSS: Densidad relativa aparente.

### **Equipos**

- Balanza, con una aproximación de 0,05% de la masa de la muestra y equipada con un dispositivo adecuado para suspender el recipiente con la muestra en agua.
- Recipiente para la muestra, con una abertura de 3,35 mm o de malla más fina con una capacidad de 4 a 7 litros y que no retenga aire al ser sumergido.
- Tanque de agua.
- Tamices.
- Horno, de temperatura uniforme de  $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ .

### **Muestreo**

- Se lo tomara en base a la tabla 2 referida en el anexo A.

### **Procedimiento**

- Enjuagar la muestra del agregado para separar las partículas incluidas en el agregado grueso.
- Sumergir la muestra en agua durante 24 h, con una tolerancia de más o menos 4 h, para permitir que sus poros se llenen de agua.
- Retirar la muestra del agua y con una tela absorbente quitar la lámina perceptible de agua. Las partículas grandes se pueden secar individualmente.

- Determinar la masa del agregado en (SSS).
- Colocar la muestra en estado SSS en un depósito con agua a temperatura ambiente, remover para eliminar todo el aire de entre el agregado y medir la masa.
- Retirar la muestra del depósito, ubicar en un recipiente y dejar secar durante 24 horas.
- Permitir enfriar la muestra entre 1 y 3 horas o hasta q tenga una temperatura manejable y determinar masa.

### Cálculos

- **Densidad relativa (gravedad específica):**

$$(SH) = \frac{A}{(B - C)} \quad \text{Ec. ( 2)}$$

Donde:

- A= masa en aire de la muestra seca al horno, g.
- B= masa en aire de la muestra en condición (SSS), g.
- C= masa aparente en agua de la muestra saturada, g.

- **Densidad relativa (gravedad específica):**

$$(SSS) = \frac{B}{(B - C)} \quad \text{Ec. ( 3)}$$

- **Densidad relativa aparente (gravedad específica aparente):**

$$(SSS) = \frac{A}{(A - C)} \quad \text{Ec. ( 4)}$$

#### 3.2.1.4 Densidad aparente

Para este ensayo se hizo uso de la normativa NTE INEN 858:2010 en donde muestra que se puede determinar en dos condiciones que son suelta y compacta.

## **Equipos**

- Balanza, con una exactitud de 0,1% de la carga del ensayo.
- Varilla de compactación, de 16 mm de diámetro y 600 mm de longitud aproximadamente, varilla recta, lisa y de acero.
- Molde, depósito cilíndrico de metal con la parte superior e inferior rectos y uniformes. Determinada en base a la tabla 3 referida en el anexo A.
- Pala, de un tamaño que no dificulte el llenado del molde.

## **Muestreo**

La muestra del agregado se obtiene de las pautas indicadas en la norma NTE INEN 695.

## **Procedimiento**

Densidad suelta:

- Con la pala colocar el agregado en el recipiente de manera que se colme he impidiendo que el material se compacte.
- Con una varilla lisa o regleta nivelar el molde con cuidado de no compactar el agregado.
- Retirar el exceso del agregado y medir la masa de la muestra junto con el molde.

Densidad compactada

- Con la ayuda de la pala llenar una tercera parte del recipiente y con la varilla lisa compactar la muestra con 25 varilladas.
- Repetir la compactación para las dos terceras partes restantes.
- Con la ayuda de una varilla lisa enrasar el molde y de ser necesario rellenar espacios vacíos.
- Retirar el exceso del agregado y pesar la muestra con el molde.

## **Cálculos**

$$M = \frac{(G - T)}{V} \quad \text{Ec. ( 5)}$$

Donde:

- M= masa unitaria del agregado, kg/m<sup>3</sup>.
- G= masa del árido más la masa del molde, kg.
- T= masa del molde, kg.
- V= volumen del molde, m<sup>3</sup>.

### **3.2.1.5 Módulo de finura**

Se utilizó el método establecido en la norma NTE INEN 696:2011 para calcular el módulo de finura de los agregados. Este procedimiento implica agregar los porcentajes de material que queda retenido en los tamices y luego dividir esa suma entre 100. En otras palabras, se puede representar como:

$$MF = \frac{\sum \% \text{ Ret. Acum}(N^{\circ}100, N^{\circ}50, N^{\circ}30, N^{\circ}16, N^{\circ}8, N^{\circ}4, 3/8", 3/4", 1 1/2")}{100} \quad \text{Ec. ( 6)}$$

Para fracciones de muestra en tamices que superan los 37,5 mm, se incrementan en una proporción de dos a uno.

## **3.2.2 Fibra natural abacá**

### **3.2.2.1 Longitud de fibra.**

El tamaño de la fibra de acuerdo con (Ali et al., 2012) en su estudio realizado de hormigón armado con fibra de coco en donde se evidencia que la longitud más funcional para su buena eficiencia es de 5 cm y la norma ACI 544.4R-18-2018 especifica que el tamaño de las fibras naturales como adición en el concreto es de 3.77 cm. En base a esto la longitud utilizada para este estudio fue de 4 cm.

Para los ensayos de tracción el tamaño de la fibra fue de 21 cm y para el contenido de humedad la longitud de la fibra fue de 2 cm.

## **Equipos**

- Guillotina de papel.
- Regla

### **Materiales**

- Fibra de abacá

### **Procedimiento**

- Con la ayuda de la guillotina y la regla proceder a cortar la fibra en las diferentes medidas (2 cm, 4 cm y 21 cm) y la cantidad necesaria que se usaría en cada ensayo.

#### **3.2.2.2 Tratamiento químico.**

Para tratar químicamente a la fibra natural con NaOH, se usó una solución al 4% de concentración de NaOH y para esto se utilizó agua destilada como solvente e hidróxido de sodio de concentración pura del lote A0423820 como soluto, teniendo en cuenta que es una sustancia corrosiva se debe usar guantes de nitrilo para su manipulación y equipos y herramientas que no sean de metal.

La cantidad de abacá a ser tratada está en función de la cantidad de agregado grueso es decir el 0.75% en masa a emplearse en la elaboración de las 6 placas, 3 cilindros, 3 vigas, más la suma de fibra a emplear en los ensayos.

### **Equipos**

- Balanza, con una precisión de 0,001g.
- Agitador magnético.
- Vaso de precipitación de 1000 ml.
- Paleta de plástico.

### **Materiales**

- Fibra de abacá.
- Recipiente de plástico que se pueda sellar herméticamente.
- Agua destilada.

### **Procedimiento**

Para esta investigación se separó la fibra en dos grupos:

Grupo 1: fibra de longitud igual a 21 cm para ensayo de propiedades físicas y mecánicas.

Grupo 2: fibra de longitud igual a 4 cm para el uso como componente de agregado en el hormigón y el ensayo de absorción.

Preparación de la solución de NaOH al 4% de concentración.

- Se hizo uso de 7000 ml de solución para la fibra a emplearse en la dosificación del hormigón (grupo 2) y 500 ml para el grupo 2.
- En un vaso de precipitación de un volumen de 1000 ml se pesó 500 g de agua destilada.
- Con los guates colocados en todo momento proceder a pesar por cada 1000 ml de agua destilada 40 g de NaOH, esto en un recipiente de cerámica y con la paleta de plástico con mucho cuidado de no salpicar el NaOH fuera del recipiente de cerámica.
- Ubicar el vaso con el agua destilada en el agitador, encenderlo y verter el NaOH con la ayuda de la paleta de plástico verter el soluto de manera controlada y en pequeñas cantidades para que este se diluya por completo.
- Para las fibras de 21 cm se usó una funda hermética en donde se colocó las 33 fibras a tratar y los 500 ml de solución y se dejó en reposo por un lapso de 24 h.



**Figura 6.** Fibra de 21 cm de longitud en tratamiento con NaOH

**Fuente:** Chariguaman, J.

- Retirar las fibras de la solución y lavarlas hasta que el agua sea transparente o tenga un ph neutro.

- Colocar únicamente las fibras en un recipiente y colocar en el horno a 110 °C por un periodo de 24 h.
- Para las fibras de 4 cm de longitud se realiza el mismo procedimiento que se hizo para las fibras de 21 cm.
- Para esta se usó otro tipo de recipiente en cual se puede ver en la figura 4.



**Figura 7.** Fibra de 4 cm de longitud en tratamiento con NaOH

**Fuente:** Chariguaman, J.

- En la figura 5 se muestra la fibra luego de ser tratada con NaOH y secada en el horno.



**Figura 8.** Fibra de 4 cm de longitud después del tratamiento con NaOH y secado al horno

**Fuente:** Chariguaman, J.

### 3.2.2.3 Contenido de humedad

Para el cálculo del contenido de humedad se hizo uso la muestra de 2 cm de longitud previamente cortada y en su estado natural es decir sin un tratamiento con NaOH.

### Equipos

- Horno.
- Balanza, de 1 mg de sensibilidad.

### **Materiales**

- 20 g de fibra de abacá de 2 cm de longitud.

### **Procedimiento**

- Manejar la fibra con guantes ya que de lo contrario la fibra puede absorber la humedad de las manos y dar resultados erróneos.
- Cortar aproximadamente 20 g de fibra natural de abacá sin tratamiento químico en una longitud de 2 cm.
- Colocar los 20 g de la fibra en una bolsa y sellarla herméticamente para ser transportada al laboratorio de textiles de la Escuela Politécnica Nacional, en donde se llevó a cabo el cálculo del contenido de humedad de la fibra.

#### **3.2.2.4 Absorción de la fibra con tratamiento de NaOH.**

Este ensayo se realizó con la finalidad de determinar el porcentaje de absorción de agua de la fibra natural de abacá, dado que el volumen de agua presente en el concreto es crucial para establecer su resistencia. El propósito de este ensayo es ajustar la cantidad de agua en la mezcla para prevenir que la fibra absorba el agua esencial para el cemento.

### **Equipo**

- Balanza de 1 mg de sensibilidad.
- Recipiente

### **Materiales**

- 20 g de fibra de abacá tratadas con NaOH del grupo 1.
- Toalla o papel absorbente.

### **Procedimiento**

- Pesar 20 g de fibra del grupo 1.



- Medir la masa del recipiente y registrarlo.
- Llenar agua a temperatura ambiente en el recipiente hasta cubrir toda la fibra y dejar en estado de reposo por 24 h.
- Retirar la fibra del agua y con la ayuda de la toalla y papel absorbente retirar el agua de las superficies de las fibras.
- Colocar la fibra en el recipiente y pesar la masa de la fibra junto con la del recipiente y registrarlo.

$$\%W_A = \frac{m_{af} - m_{ai}}{m_{ai}} * 100 \quad \text{Ec. ( 7)}$$

Donde:

$\%W_A$ : cantidad de masa de agua en porcentaje que absorbe la fibra.

$m_{ai}$ : masa inicial de la fibra, g.

$m_{af}$ : masa de la fibra en estado SSS, g.

### **3.2.2.5 Ensayo para la determinación de las propiedades físicas y mecánicas.**

Para este ensayo se utilizó las fibras de 21 cm de longitud y el propósito del ensayo fue calcular la diferencia de las características físicas y mecánicas de las fibras tratadas con NaOH y sin tratar, por lo que se usó 33 fibras tratadas y 33 fibras sin tratar.

Las propiedades para determinar son la fuerza de rotura, elongación, densidad lineal y la tenacidad según la norma (ASTM D 2256) con una rapidez de ensayo de 8 mm/min.

#### **Equipo**

- Balanza de precisión de 4 decimales encapsulada.
- Máquina de prueba a tensión.

#### **Procedimiento**

- Se mide la masa de cada una de las fibras con la ayuda de la balanza de 4 decimales de precisión encapsulada para que la atmosfera no influya en la medición de la masa de cada una de las fibras y membretarlas.
- Las fibras una a una son sometidas a tensión con el uso de la máquina de tensión electrónico.
- La prueba se realiza a una rapidez constante de 8 mm/min.

### 3.2.2.6 Cálculo de la tenacidad de rotura

La tenacidad de rotura de las fibras ensayadas se determina con la ecuación 8.

$$B = \frac{F}{T} \quad \text{Ec. ( 8)}$$

Donde:

B: tenacidad de rotura.

F: fuerza de rotura.

T: densidad lineal.

### 3.2.2.7 Cálculo de la elongación

La elongación es el alargamiento máximo que resiste hasta antes de la ruptura, se determina con la ecuación 9 y se mide en porcentaje %.

$$\varepsilon_p = \frac{E * R}{C * L} * 100 \quad \text{Ec. ( 9)}$$

Donde:

$\varepsilon_p$ : % de elongación.

*E*: La distancia desde el inicio de la gráfica hasta la fuerza de pretensión de la fibra, medida en milímetros.

*R*: Rapidez del ensayo, mm/min.

*C*: Rapidez del grafico de registro, mm/min.

*L*: longitud nominal de la muestra, mm.

### **3.3 Dosificación de agregados para el concreto**

La formulación de los agregados comienza por calcular las cantidades de agregados, cemento y agua por unidad de volumen, con el fin de alcanzar una resistencia mínima a la compresión del concreto necesaria para cada proyecto, establecida en este caso en  $210 \text{ kg/cm}^2$ .

#### **3.3.1 Resistencia requerida**

Según ACI 318-19 Los miembros de concreto simple deben ser diseñados con una resistencia adecuada y pueda desempeñarse óptimamente ante cargas y fuerzas mayoradas de acuerdo con la tabla 4 referida en el anexo A.

#### **3.3.2 Asentamiento**

La selección del asentamiento es la medida de la firmeza y del grado de fluidez del hormigón en el cual es óptimo para distintos tipos de construcción, la cual se aprecia en la tabla 5 referida en el anexo A.

#### **3.3.3 Agua teórica**

El volumen de agua a utilizar en la mezcla estará determinado por:

- Tamaño de árido.
- La consistencia deseada.

El cálculo del volumen de agua es un factor que está en relación con el tamaño máximo del agregado, la trabajabilidad del concreto e incluso la temperatura. La tabla 6 referida en el anexo A es una guía para el cálculo del volumen de agua teórica necesaria.

### 3.3.4 Tamaño máximo nominal del agregado

Este no tiene que superar el 1/3 de la profundidad de la losa ni el 1/5 de la menor dimensión de la sección del elemento, la tabla 7 referida en el anexo A es una guía para su determinación.

### 3.3.5 Relación agua cemento

La relación entre el agua y el cemento (a/c) afecta la resistencia y la durabilidad requeridas para una construcción determinada. Esta relación permite lograr diversas resistencias al emplear diferentes tipos de cemento, agregados y aditivos, incluso manteniendo la misma proporción a/c.

En la tabla 8 referida en el anexo A podemos ver distintas relaciones de agua-cemento y las posibles resistencias del hormigón a los 28 días con inclusión de aire y sin inclusión de aire.

### 3.3.6 Factor y volumen de cemento

Es la relación entre la cantidad de agua unitaria y la relación agua-cemento.

$$\text{Factor de cemento} = \frac{c}{r} \quad \text{Ec. ( 10)}$$

Donde:

c: cantidad de agua unitaria.

r: relación agua-cemento.

$$\text{Volumen de cemento} = \frac{\text{Factor de cemento}}{\text{densidad real del cemento}} \quad \text{Ec.( 11)}$$

Para finalizar con la dosificación de los agregados únicamente restaría determinar el volumen de agregado fino y para esto es solo la diferencia del volumen unitario y los volúmenes de los otros agregados. La ecuación 12 hace referencia a un hormigón sin inclusión de aire.

$$Volumen\ arena = 1 - V_{ari.grueso} - V_{cemento} - V_{agua} \quad Ec. (12)$$

- $V_{ari.grueso}$ : volumen árido grueso.
- $V_{cemento}$ : volumen de cemento.
- $V_{agua}$ : volumen de agua.

### 3.3.7 Corrección de humedad

Esta corrección se realiza debido a que en la dosificación del hormigón se maneja a los agregados en estado SSS, condición que en una obra no se encontrara, y es por esto por lo que también se recomienda que a los agregados se los almacene en lugares bajo cubierta ya que en caso de que se presente lluvias, la correspondencia agua-cemento se verá afectada y la resistencia del concreto disminuirá.

## 3.4 Elaboración de probetas a ensayar

Para comenzar el estudio, fue esencial que la proporción de los agregados en el hormigón resultara en una resistencia mínima a la compresión de 210 kg/cm<sup>2</sup> después de 28 días de su elaboración. Además, para validar el estudio, este hormigón debía mostrar grietas en losetas de 2.5 cm de espesor. Una vez obtenidos estos resultados, se inició la fabricación de las muestras de concreto simple (hormigón patrón) como las muestras de concreto con la adición de fibra.

### 3.4.1 Probetas de hormigón patrón

En la tabla 9 se especifica el tipo de probetas, sus dimensiones y la cantidad.

**Tabla 9.** Especificaciones de las probetas patrón.

Tipo de probeta	Dimensiones (m)	Cantidad
Cilindros	0.1x0.2	3
Vigas	0.1x0.1x0.4	3
Losetas	0.025x0.4x0.75	3

**Elaborado por:** Chariguaman, J.

### 3.4.2 Probetas de hormigón con fibra natural de abacá como componente en la dosificación.

El porcentaje de fibra que se debe agregar al concreto depende de la masa del agregado grueso que se utilizará en cada una de las muestras.

**Tabla 10.** Especificaciones de las probetas de hormigón con fibra y su porcentaje de fibra.

Tipo de probeta	Dimensiones (m)	% de fibra	Cantidad
Cilindros	0.1x0.2	0.75	6
Vigas	0.1x0.1x0.4	0.75	6
Losetas	0.025x0.4x0.75	0.75	6

**Elaborado por:** Chariguaman, J.

#### Materiales

- Moldes, (cilindros, vigas y losetas)



Cilindro



Placa

**Figura 9.** Representación gráfica de los moldes empleados en el estudio.

**Fuente:** Chariguaman, J.

- Balanza.

- Recipientes, servirán para el pesaje de los distintos agregados y para realizar la mezcla.
- Pala de mano.
- Maso de goma.
- Varilla.
- Agregados, (fino y grueso).
- Cemento.
- Agua.
- Fibra.

### **Procedimiento de la fabricación de las probetas.**

- Determinar el volumen de concreto a utilizar en cada una de las probetas.
- Con el uso de los datos de la dosificación correcta y el volumen de cada probeta se procede a medir la cantidad de cada uno de los materiales a utilizar.
- Es muy importante agregar un porcentaje de un 5% al material como desperdicio y con el fin de asegurar que al final no falte.
- Ya determinada la cantidad de materiales, con el uso de la pala de mano, los recipientes y la balanza se mide cada uno de ellos.
- Una vez tengamos las cantidades justas de los materiales a utilizar procedemos a mezclar en un recipiente primero los materiales secos, empezando por el agregado fino y el cemento para luego integrar el agregado grueso posterior para el caso del hormigón con fibra se integra la fibra vegetal de 4 cm de longitud tratada y finalmente se añade el agua.
- Se mezcla el tiempo necesario para que toda la mezcla quede hidratada homogéneamente.
- Engrasar los moldes antes de agregar el hormigón con una fina capa de lubricante.
- Para el caso de los cilindros se los arma llenándolos por tercios en donde en cada tercio con el uso de la varilla se compacta con 25 varilladas y con el maso de goma se da 15 golpes a su alrededor para que el hormigón no quede con aire, el varillado se hace con cuidado de no introducir más de 2 cm la capa anterior y al final se da un engrasado y alisado del cilindro.

- Para las vigas es el mismo proceso que se realizó para los cilindros.
- En el caso de las losetas se coloca el hormigón y con la varilla lisa se amolda el hormigón en todo el molde.
- Una vez armadas las probetas para el caso de las vigas y los cilindros se dejan en un periodo de fraguado por 24 h, para posterior a esto pasar al proceso de curado hasta antes de su ensayo.
- El curado consiste en mantener sumergidas las probetas en agua a una temperatura ambiente.
- Para el caso de las losetas se hizo uso de una cámara de control de aire y temperatura en donde se coloca la placa por al menos 6 horas en donde se registrará la temperatura y viento mediante el uso de un termómetro bimetalico y también se registrará su proceso de secado mediante captura de fotos cada 30 minutos.



**Figura 10.** Proceso de elaboración del hormigón.



**Fuente:** Chariguaman, J.



**Figura 11.** Proceso de curado de las probetas, (vigas y cilindros).

**Fuente:** Chariguaman, J.

### **3.4.3 Ensayos realizados a las probetas**

#### **3.4.3.1 Resistencia a la compresión.**

Este análisis posibilita la evaluación de la resistencia a la compresión ( $f'_c$ ) de los cilindros de hormigón, ya sea que hayan sido confeccionados en un laboratorio, en el terreno, o mediante la extracción de núcleos. Los resultados obtenidos pueden variar según las dimensiones y las características del espécimen, la contextura y preparación de la mezcla, así como las condiciones durante el curado.

Las probetas cilíndricas para ensayos a compresión pueden ser de dos tamaños, 0.15x0.30 m o de 0.1x0.2 m siendo el segundo el caso de este estudio. Se puede usar cilindros de otras dimensiones, pero deben cumplir con la relación de longitud/diámetro igual a 2. Todo esto en consideración a la norma ASTM C39

La ecuación 13 permitirá el cálculo de la resistencia a compresión  $f'_c$  del hormigón.

$$f'_c = \frac{P_{max}}{A} * f \quad \text{Ec. ( 13)}$$

Entonces:

$$A = \frac{\pi}{4} * D^2$$

Ec. ( 14)

Donde:

$f'c$ : resistencia a la compresión del concreto, kg/cm<sup>2</sup>.

$P_{max}$ : carga máxima antes el fallo del cilindro, kN.

$A$ : área de la sección transversal del cilindro, mm<sup>2</sup>.

$f$ : factor de conversión (10197.2)

$D$ : diámetro promedio del cilindro.

### **Equipos:**

- Prensa hidráulica.
- Balanza.
- Flexómetro.
- Calibrador.

### **Materiales**

- Toalla o papel absorbente.
- Probetas cilíndricas.

### **Procedimiento**

- Una vez cumplido el tiempo en el proceso de curado se retira las probetas y con una tela absorbente se seca la superficie de los cilindros.
- Con la balanza se mide su masa.
- Se registra 3 alturas del cilindro con la ayuda del flexómetro.
- Con el escalímetro se registra la medida de su diámetro en puntos perpendiculares y en la altura céntrica del cilindro.
- Una vez registrado todos estos datos se inicia el ensayo a compresión con la ayuda de la máquina.



**Figura 12.** Proceso de ensayo a compresión (realizado en el laboratorio LEMSUR, EPN).

**Fuente:** Chariguaman, J.

- Una vez realizado el ensayo se registra la resistencia máxima antes del fallo y el tipo de falla presente en el cilindro.

En base a la norma ASTM C39, (2021) existen 6 tipos de fallas para los cilindros ensayados a compresión los cuales se puede apreciar en la figura 13 referida en el anexo B.

### **3.4.3.2 Resistencia a la flexión**

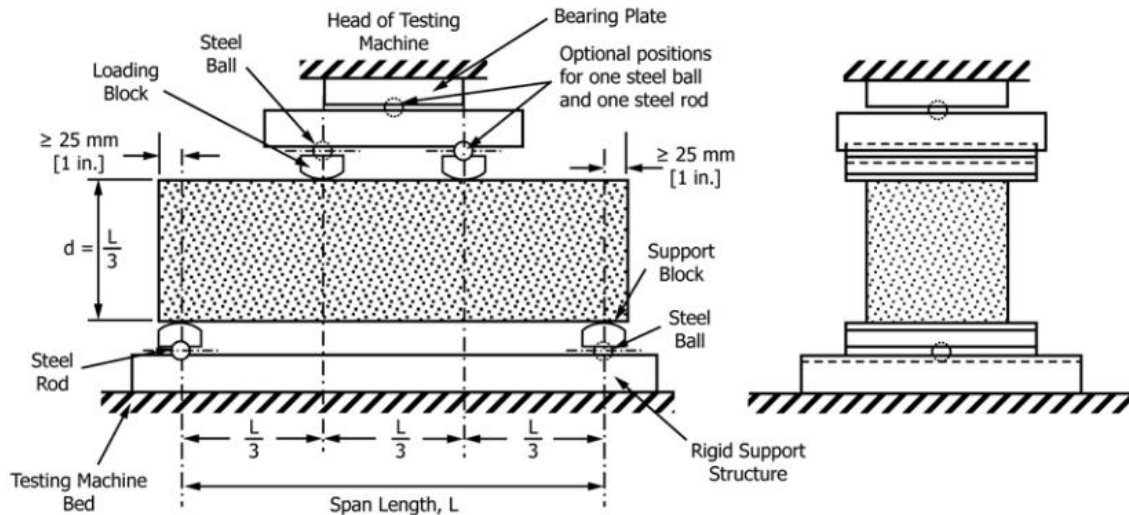
La prueba de flexión de las vigas se emplea para evaluar la resistencia a la tracción del concreto, representada típicamente por el módulo de rotura, el cual suele estar entre el 10% y el 20% de la resistencia a la compresión. Esta prueba puede realizarse de dos formas distintas.

- De acuerdo con la norma ASTM C293

La carga total se concentrará en el centro del tramo libre de la viga. En este enfoque, el módulo de rotura será superior al del método que aplica carga en los tercios, y la tensión alcanzará su máximo en el centro de la viga.

- De acuerdo con la norma ASTM C78

La carga se aplicará en los puntos tercios de la viga en donde la carga se dividirá a la mitad actuando en cada punto de la viga, su módulo de rotura será menor que en el caso de carga en el centro de la luz y la tensión máxima se distribuirá en el tercio medio de la viga.



**Figura 14.** Esquema de la máquina de ensayo a flexión para el método de carga en los tercios de la viga.

**Fuente:** (ASTM C78/C78M-22)

### Equipos

- Prensa hidráulica.
- Flexómetro.
- Deformímetro.

### Materiales

- Toalla o papel absorbente.
- Probetas tipo viga.

### Procedimiento

- Luego de completar el tiempo de curado se retira las probetas del tanque y se seca con la toalla.

- Con el flexómetro se procede a marcar las distancias en las que se colocara los puntos de carga y apoyos que son de los que se puede apreciar en la figura 13.
- Situar la probeta en la máquina, se ajusta los apoyos y puntos de carga.
- colocar el deformímetro en la parte inferior de la viga y encerar.
- Dar inicio al ensayo.

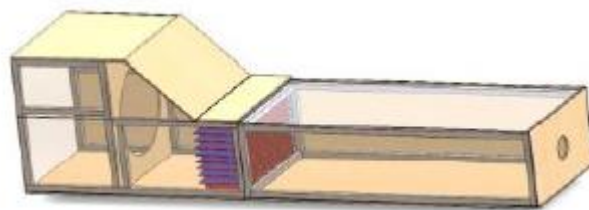


**Figura 15.** Representación gráfica del ensayo a tracción en vigas.

**Fuente:** Chariguaman, J.

### **3.4.3.3 Proceso de secado de losetas**

Este proceso se realizó con el fin de registrar el proceso de secado de las losetas para lo cual se hizo uso de una cámara de aire caliente como la que se observa en la figura 16.



**Figura 16.** Cámara de aire caliente.

**Fuente:** (Amaguaña et al., 2022)

### **Equipos**

- Cámara de aire.

- Anemómetro.
- Cámara fotográfica.

### **Materiales**

- Probeta tipo loseta.

### **Procedimiento**

- Después de armar la loseta en el encofrado llevar a la cámara de aire.
- La cámara de aire también consta de focos que mantendrán una temperatura de alrededor de 45°C a 50°C por lo que debe encender unos 5 minutos antes de colocar la probeta con la finalidad de que alcance dicha temperatura antes de colocar la probeta.
- Colocar la probeta y el termómetro bimetálico y empezar a registrar los datos digitales y fotográficos cada 30 minutos por un lapso de 6 horas como mínimo.

## CAPITULO IV

### 4. RESULTADOS, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 4.1 Resultados de los ensayos realizados a los componentes del hormigón.

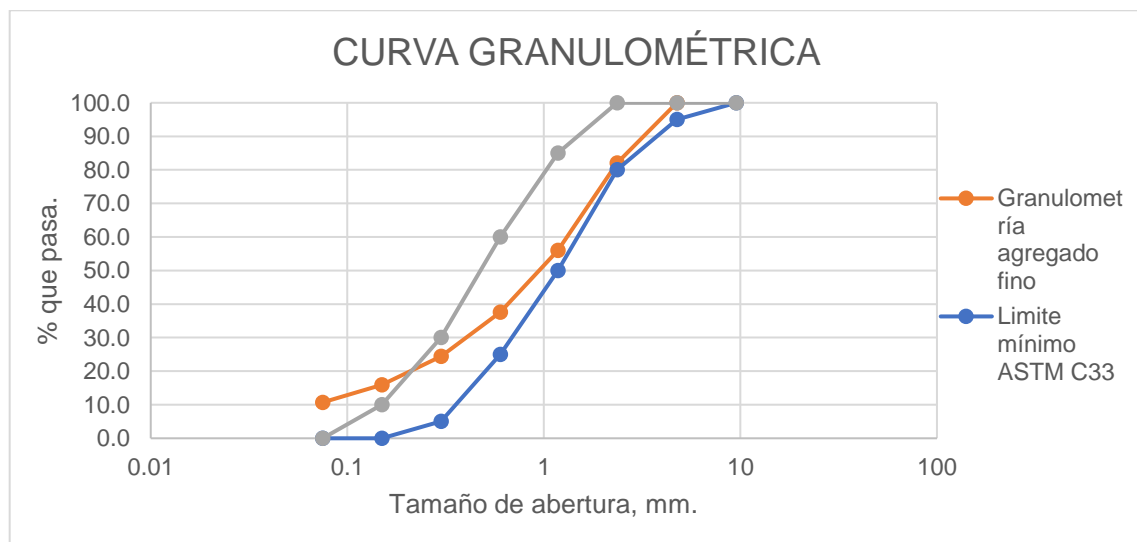
##### 4.1.1 Resultados de agregados fino y grueso

- Granulometría de agregados finos.

**Tabla 11.** Análisis granulométrico de agregado fino.

Tamiz No.	Tamaño Abertura (mm)	Peso Retenido (g)	Porcentaje Retenido (%)	Porcentaje Retenido Acumulado (%)	Porcentaje Que Pasa (%)
No.4	4.75	0	0.0	0.0	100.0
No.8	2.36	44.8	18.0	18.0	82.0
No.16	1.18	65	26.1	44.0	56.0
No.30	0.6	45.8	18.4	62.4	37.6
No.50	0.3	32.9	13.2	75.6	24.4
No.100	0.15	21.2	8.5	84.1	15.9
No.200	0.075	13	5.2	89.3	10.7
Bandeja		26.7	10.7	100.0	0.0
TOTAL		249.4			

**Elaborado por:** Chariguaman, J.



**Figura 17.** Curva granulométrica del agregado fino.

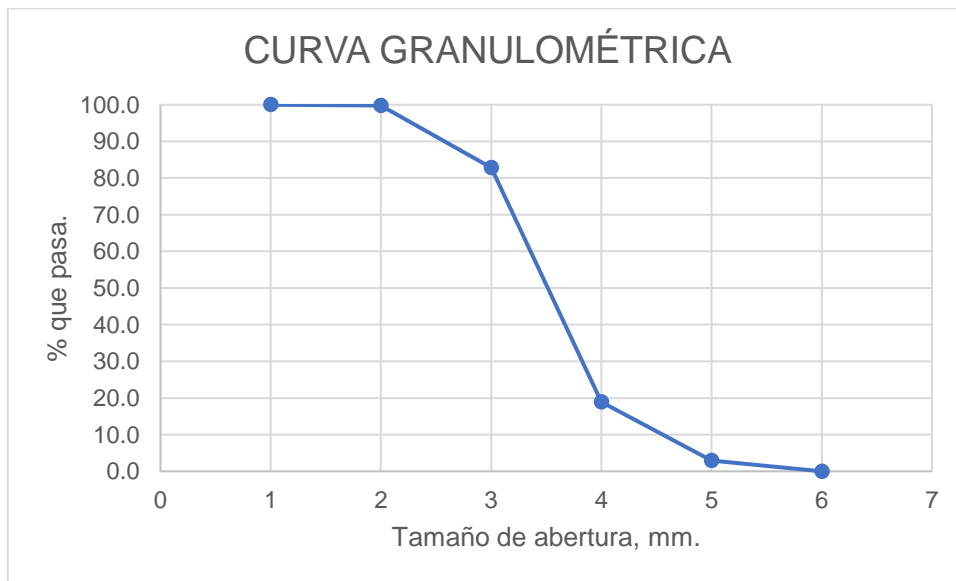
**Elaborado por:** Chariguaman, J.

- Granulometría de agregados gruesos (chispa 3/8”).

**Tabla 12.** Análisis granulométrico de agregado grueso.

Peso inicial (g)		1016.1	Número de Tamaño		7
Tamiz No.	Tamaño Abertura (mm)	Peso Retenido (g)	Porcentaje Retenido (%)	Porcentaje Retenido Acumulado (%)	Porcentaje Que Pasa (%)
¾”	19	0	0.0	0.0	100.0
½”	12.5	1.9	0.2	0.2	99.8
3/8”	9.5	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	1015.2	Módulo de Finura	6.0	

**Elaborado por:** Chariguaman, J.



**Figura 18.** Curva granulométrica del agregado grueso (chispa 3/8”).

**Elaborado por:** Chariguaman, J.

- Densidad aparente de agregados.



**Tabla 13.** Propiedades de los agregados.

Descripción	Muestra Suelta		Muestra Compactada	
	Densidad relativa seca (kg/m <sup>3</sup> )	Contenido de vacíos (%)	Densidad seca (kg/m <sup>3</sup> )	Contenido de vacíos (%)
Arena	1521.000	41	1729	33
Ripio	1287	50	1426.000	45

**Elaborado por:** Chariguaman, J.

- Gravedad específica y absorción de agregados.

**Tabla 14.** Propiedades de los agregados.

Descripción	Densidad relativa seca	Densidad relativa S.S.S	Densidad relativa aparente	Absorción de agua (%)
Arena	2.580	2.635	2.731	2.15
Ripio	2.581	2.639	2.740	2.24

**Elaborado por:** Chariguaman, J.

#### 4.1.2 Resultados de las fibras vegetales de abacá.

- Propiedades físico-mecánicas de las fibras naturales de abacá.

**Tabla 15.** Características fundamentales de las fibras de abacá.

		Fuerza de rotura (N)	Elongación (%)	Densidad lineal (tex)	Tenacidad (cN/tex)
Fibra sin tratamiento	Media	47.9	3.2%	89.3	54.0
	Desviación estándar	15.6	1.0%	22.6	12.0
Fibra con tratamiento	Media	26.8	2.3%	68.0	41.0
	Desviación estándar	9.0	1.0%	20.9	12.0

**Elaborado por:** Chariguaman, J.

#### 4.2 Dosificación (cantidades de los componentes del hormigón)

Dado que se necesitaba una resistencia mínima de 210 kg/cm<sup>2</sup> para el estudio, se diseñó una dosificación inicial de los componentes del concreto para lograr una resistencia de aproximadamente 260 kg/cm<sup>2</sup>. Los datos conseguidos se observan en la tabla 15. Sin embargo, estos datos arrojaron una resistencia a la compresión

de 240 kg/cm<sup>2</sup> después de 7 días de ensayo. Por lo tanto, se ajustaron los resultados de la dosificación.

**Tabla 16.** Resultados de la dosificación 1.

Componentes del hormigón	Peso Kg por unidad de m3 de hormigón	Relación
Cemento	548.78	1.00
Arena	808.45	1.47
Ripio	641.70	1.17
Agua	256.76	0.47

**Elaborado por:** Chariguaman, J.

Se sabe que el agua es un componente que afecta mucho en la resistencia del concreto es por esto que, aumentando el volumen de agua la resistencia disminuye, por lo que se decidió aumentar el volumen de agua en relación de 0.1 en donde la resistencia se acercó más a la deseada, esta se muestra en la tabla 17.

**Tabla 17.** Resultados de la dosificación 2.

Componentes del hormigón	Peso Kg por unidad de m3 de hormigón	Relación
Cemento	548.78	1.00
Arena	808.45	1.47
Ripio	641.70	1.17
Agua	312.80	0.57

**Elaborado por:** Chariguaman, J.

El objetivo de la dosificación no solo fue determinar una resistencia del hormigón de entre 210 kg/cm<sup>2</sup> y 240 kg/cm<sup>2</sup>, también fue que el hormigón presentara fisuras en las losetas y la dosificación 2 no cumplió con esto por lo que se decidió modificar la dosificación y la cual cumplió con los requisitos es la mostrada en la tabla 18.

**Tabla 18.** Resultados de la dosificación 3.

Componentes del hormigón	Peso kg por unidad de m3 de hormigón	Relación
Cemento	548,78	1,00
Arena	889,29	1,62
Ripio	641,70	1,17
Agua	301,83	0,55

**Elaborado por:** Chariguaman, J.

### 4.3 Resultados de las probetas (cilindros, vigas y placas).

#### 4.3.1 Cilindros

Las probetas cilíndricas fueron ensayadas a compresión con la finalidad de determinar el  $f_c$  del hormigón y a continuación se exponen los resultados de las probetas de concreto simple y las probetas de concreto con 0.75% de contenido de fibra natural de abacá tratada con NaOH. El tipo de falla y los defectos corresponde a la norma ASTM C39.

Descripción de defectos:

- A: ninguno.
- B: segregado.
- C: porosidad.
- D: fisuras preexistentes.
- E: otra.

**Tabla 19.** Características físicas y resistencia de los cilindros de hormigón simple.

Identificación	Fecha fabricación	Fecha rotura	Edad (días)	Diámetro (mm)	Área ( $mm^2$ )	Peso específico ( $kg/m^3$ )	Carga Máxima (kN)	Tipo de falla	Tipo de defectos	Resistencia $kg/cm^2$ (MPa)
C-H-S	28/06/2023	05/07/2023	7	101,75	8131	2249	151	Tipo 2	A	189.66 (18.6)
C-H-S	28/06/2023	12/07/2023	14	102,25	8211	2235	216,4	Tipo 2	A	268.18 (26.3)
C-H-S	28/06/2023	26/07/2023	28	101,75	8131	2256	247,8	Tipo 2	A	309.99 (30.4)

**Elaborado por:** Chariguaman, J.

Nomenclatura:

- C-H-S: hace referencia a cilindro de hormigón simple.

**Tabla 20.** Características físicas y resistencia de los cilindros con fibra natural de abacá al 0.75%.

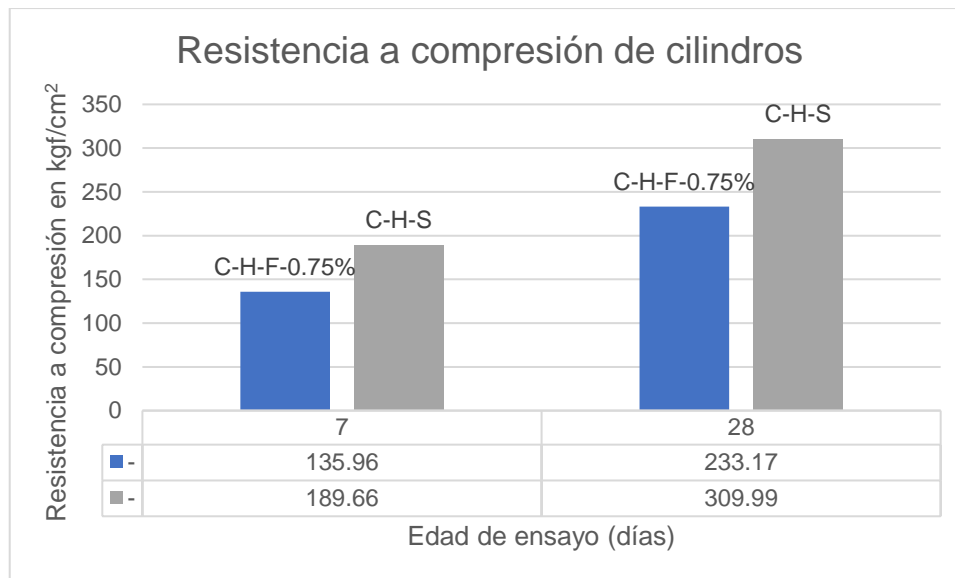
Identificación	Fecha fabricación	Fecha rotura	Edad (días)	Diámetro (mm)	Área ( $mm^2$ )	Peso específico ( $kg/m^3$ )	Carga Máxima (kN)	Tipo de falla	Tipo de defectos	Resistencia $kg/cm^2$ (MPa)
C-H-F-0.75%	05/07/2023	12/07/2023	7	101,75	8131	2230	112,1	Tipo 2	A	140.72 (13.8)
C-H-F-0.75%	05/07/2023	12/07/2023	7	101,50	8091	2219	107,3	Tipo2	A	135.62 (13.3)
C-H-F-0.75%	05/07/2023	12/07/2023	7	102,00	8171	2221	105,3	Tipo2	A	131.54 (12.9)
C-H-F-0.75%	05/07/2023	02/08/2023	28	101,75	8131	2244	190,3	Tipo2	A	238.61 (23.4)
C-H-F-0.75%	05/07/2023	02/08/2023	28	102,25	8211	2255	194,7	Tipo2	A	240.65 (23.6)
C-H-F-0.75%	05/07/2023	02/08/2023	28	102,75	8292	2228	178,8	Tipo2	A	220.26 (21.6)

**Elaborado por:** Chariguaman, J.

Nomenclatura:

- C-H-F: hace referencia a cilindro de hormigón con fibra.
- 0.75%: hace referencia al porcentaje de fibra de abacá presente en el hormigón.

Como se puede ver en los datos de la resistencia el objetivo de conseguir una resistencia de entre 210 Kg/cm<sup>2</sup> y 240 Kg/cm<sup>2</sup>, se cumple con el porcentaje de 0.75% de fibra.



**Figura 19.** Comparación de la resistencia a la compresión entre los cilindros de concreto convencional y los cilindros de concreto reforzado con fibra.

**Elaborado por:** Chariguaman, J.

### 4.3.2 Vigas

Las vigas fueron probetas realizadas con la finalidad de obtener resultados de resistencia a la tracción que se muestra como el módulo de rotura y la deflexión. Por lo tanto, las vigas fueron sometidas a ensayos de flexión.

**Tabla 21.** Características físicas y resistencia de las vigas de hormigón simple.

Descripción	Fecha de fábrica	Fecha de rotura	Edad (días)	Sección derotura		Luz libre (mm)	Carga máxima (N)	Modulo de rotura $kg/cm^2$ (MPa)
				Alto (mm)	Ancho (mm)			
V-H-S	28/6/2023	5/7/2023	7	101	102	351	10222	35.18 (3.45)
V-H-S	28/6/2023	12/7/2023	14	103	102	353	10397	34.67 (3.4)
V-H-S	28/6/2023	26/7/2023	28	103	101	354	10905	36.71 (3.6)

**Elaborado por:** Chariguaman, J.

#### Nomenclatura

- V-H-S: hace referencia a viga de hormigón simple.

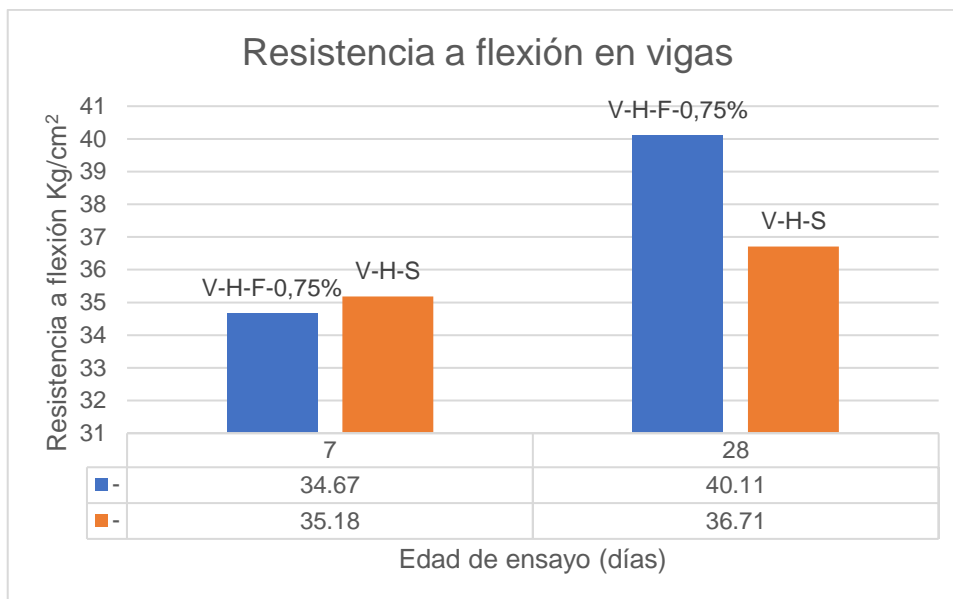
**Tabla 22.** Características físicas y resistencia de las vigas con fibra natural de abacá al 0.75%.

Descripción	Fecha de fábrica	Fecha de rotura	Edad (días)	Sección derotura		Luz libre (mm)	Carga máxima (N)	Modulo de rotura $kg/cm^2$ (MPa)
				Alto (mm)	Ancho (mm)			
V-H-F-0.75%	19/07/2023	26/07/2023	7	101	100	356	10120	36.20 (3.55)
V-H-F-0.75%	19/07/2023	26/07/2023	7	101	100	356	9020	32.12 (3.15)
V-H-F-0.75%	19/07/2023	26/07/2023	7	102	100	354	10275	35.69 (3.5)
V-H-F-0.75%	19/07/2023	16/08/2023	28	102	102	352	11788	39.77 (3.9)
V-H-F-0.75%	19/07/2023	16/08/2023	28	103	100	354	11670	39.77 (3.9)
V-H-F-0.75%	19/07/2023	16/08/2023	28	104	101	354	12403	40.79 (4)

**Elaborado por:** Chariguaman, J.

#### Nomenclatura

- V-H-F: hace referencia a viga de hormigón con fibra.
- 0.75%: hace referencia al porcentaje de contenido de fibra en el hormigón.



**Figura 20.** Comparación de la resistencia a flexión en vigas de hormigón simple y vigas de hormigón con fibra.

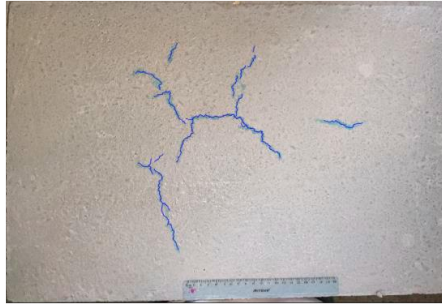
**Elaborado por:** Chariguaman, J.

Aquí se puede evidenciar que las fibras de abacá son bastante resistentes a la tracción ya que las vigas de hormigón con fibra sometidas a flexión tienen mayor resistencia que las vigas de hormigón simple.

#### 4.3.3 Placas

El ensayo de las placas fue realizado con el fin de verificar el comportamiento de las fibras naturales de abacá ante el control de la presencia de fisuras, por lo que las primeras 3 muestras se las ensayo sin contenido de fibras y 6 se realizaron con contenido de fibra al 0.75% siendo estas en las que se reflejaría si ayuda o no a controlar la aparición de fisuras en el concreto por contracción plástica.





**Figura 21.** Fisuras producidas por contracción plástica en placas de hormigón simple.

**Tabla 23.** Longitud de fisuras en placas de concreto simple.

Descripción	Longitud de fisuras mm	Área ( $cm^2$ )	Ralación ( $\frac{mm}{cm^2}$ )
P1	1159	3000	0.39
P2	592	3000	0.2
P3	856	2400	0.36

**Elaborado por:** Chariguaman, J.

Las placas de hormigón con fibra al 0.75% no presentaron fisuras, esto se puede observar en la figura 22.

#### 4.4 CONCLUSIONES

- Fácilmente se redujo la resistencia a compresión del hormigón con solo aumentar el volumen de agua, pero no fue suficiente para garantizar la presencia de fisuras en las placas de hormigón y para esto se evidencio que al aumentar el contenido de agregado fino en el hormigón las fisuras aparecen y esto se puede ver en los resultados de la dosificación 3.
- La fibra de abacá al ser de origen vegetal tiene la capacidad de absorber agua es por esto por lo que fue muy necesario realizar una dosificación con ajuste por contenido de humedad ya que de no hacerlo las fibras absorberían parte del agua de la mezcla disminuyendo la cantidad de agua con la que se hidrataría el cemento y produciendo segregado en el hormigón.
- La alta resistencia a la tracción de las fibras naturales de abacá se pudo evidenciar en las vigas ensayadas a flexión ya que las vigas de hormigón con fibra de abacá al 0.75% dieron como resultado un módulo de rotura mucho más alto que el de las vigas de hormigón simple.
- El tratamiento a la fibra natural con NaOH solo nos ayuda a eliminar impurezas orgánicas que puedan afectar al hormigón y en cuanto a las propiedades mecánicas lo que hace es disminuirlas tal como se puede apreciar en la tabla 15 su resistencia a la tracción disminuye en un 44.05% con respecto a la fibra sin tratamiento y su elongación disminuye en un 28.13%.
- La resistencia a compresión de los cilindros de hormigón simple fue mayor a la resistencia a compresión de los cilindros de hormigón con fibra y se puede decir que esto se da debido a que las fibras naturales intervienen en la adherencia de los agregados fino y grueso.
- La incorporación de fibra natural de abacá resulto muy útil para el control y la disminución de fisuras por retracción plástica ya que claramente se puede ver que no aparecieron fisuras en las placas de hormigón con fibra de abacá.
- La incorporación de fibra natural genera una desventaja al momento realizar la mezcla de los agregados pues se dificulta el proceso de mezclado en comparación al hormigón simple.



#### **4.5 RECOMENDACIONES**

- Para garantizar que la dosificación del hormigón no varíe al incorporar la fibra natural, esta se puede darle la condición de estado SSS para evitar que esta absorba parte del agua de la dosificación del hormigón.
- Tener en cuenta que el NaOH es de carácter corrosivo por lo que es muy importante no usar recipientes metálicos para su manipulación y para almacenar la fibra en su periodo de tratamiento y siempre usar guantes para evitar accidentes al contacto con la piel.
- Para la incorporación de la fibra natural a la mezcla es importante de hacerlo de manera controlada y esparciendo lo más que se pueda ya que si se incorpora todo a la vez esta no se distribuye de manera homogénea por toda la mezcla y lo que provoca es una agrupación entre ella.
- Siempre trabajar con los agregados en el estado en que se haya realizado la dosificación con la finalidad de no alterar los resultados del estudio.
- Buscar un mejor método para el proceso de cortado de la fibra ya que de la manera que se hizo es muy demorado y las longitudes no son muy exactas.

## 5. BIBLIOGRAFÍA

- ▷ *DOSIFICACION de Hormigones: TODOS los métodos | MECACON.* (n.d.). Retrieved January 19, 2024, from <https://dehormigon.com.ar/manual-del-hormigon/dosificacion-de-hormigones/>
- Ali, M., Liu, A., Sou, H., & Chouw, N. (2012). Mechanical and dynamic properties of coconut fibre reinforced concrete. *Construction and Building Materials*, 30, 814–825. <https://doi.org/10.1016/J.CONBUILDMAT.2011.12.068>
- Amaguaña Pilicita, M. E., & Guamán Mugmal, L. J. (2022). *Análisis de fisuración con corriente de aire inducido en placas de hormigón reforzado con fibras de estopa de coco.*
- Andrés, F., Romero, Q. J., & Camilo, H. R. (n.d.). *DISEÑO DE MEZCLAS DE HORMIGÓN POR EL MÉTODO A.C.I. Y EFECTOS DE LA ADICIÓN DE CENIZAS VOLANTES DE TERMOTASAJERO EN LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN.*
- Anthony, R., Awasthi, S. Y., Singh, P., & Prasath Kumar, V. R. (2020). An Experimental and Characteristic Study of Abaca Fiber Concrete. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 912(3), 032077. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/912/3/032077>
- Banthia, N., & Gupta, R. (2006). Influence of polypropylene fiber geometry on plastic shrinkage cracking in concrete. *Cement and Concrete Research*, 36(7), 1263–1267. <https://doi.org/10.1016/J.CEMCONRES.2006.01.010>
- Brooks, J. J. (2007). Dimensional stability and cracking processes in concrete. *Durability of Concrete and Cement Composites*, 45–85. <https://doi.org/10.1533/9781845693398.45>
- Buyukozturk, O. (1998). CRACK PROPAGATION IN CONCRETE COMPOSITES INFLUENCED BY INTERFACE FRACTURE PARAMETERS. In *J Solids Structures* (Vol. 35).
- Cao, Y., Shibata, S., & Fukumoto, I. (2006). Mechanical properties of biodegradable composites reinforced with bagasse fibre before and after alkali treatments.

- Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 37(3), 423–429.  
<https://doi.org/10.1016/J.COMPOSITESA.2005.05.045>
- Castoldi, R. de S., de Souza, L. M. S., Souto, F., Liebscher, M., Mechtcherine, V., & de Andrade Silva, F. (2022). Effect of alkali treatment on physical–chemical properties of sisal fibers and adhesion towards cement-based matrices. *Construction and Building Materials*, 345, 128363.  
<https://doi.org/10.1016/J.CONBUILDMAT.2022.128363>
- Constâncio Trindade, A. C., Sood, S. S., Silva, D. do C., Ozer, A., & Kriven, W. M. (2023). Abaca fiber as an efficient reinforcement for high mechanical performance in metakaolin-based geopolymers. *International Journal of Applied Ceramic Technology*. <https://doi.org/10.1111/IJAC.14595>
- Delicano, J. A. (2018). A review on abaca fiber reinforced composites. *Composite Interfaces*, 25(12), 1039–1066.  
<https://doi.org/10.1080/09276440.2018.1464856>
- Dosificación del hormigón - ¿Qué hay que saber? | BECOSAN®*. (n.d.). Retrieved January 18, 2024, from <https://www.becosan.com/es/dosificacion-del-hormigon/>
- El Abacá – Terranova papers*. (n.d.). Retrieved January 21, 2024, from <https://terrnavapapers.com/el-abaca>
- Elbehiry, A., Elnawawy, O., Kassem, M., Zaher, A., Uddin, N., & Mostafa, M. (2020). Performance of concrete beams reinforced using banana fiber bars. *Case Studies in Construction Materials*, 13, e00361.  
<https://doi.org/10.1016/J.CSCM.2020.E00361>
- Future Fibres: Abacá*. (2018). Organización de Las Naciones Unidas Para La Alimentación y La Agricultura.  
<https://www.fao.org/economic/futurefibres/fibres/abaca0/es/>
- García-García, J. A., Reding-Bernal, A., & López-Alvarenga, J. C. (2013). Cálculo del tamaño de la muestra en investigación en educación médica. *Investigación En Educación Médica*, 2(8), 217–224. [https://doi.org/10.1016/S2007-5057\(13\)72715-7](https://doi.org/10.1016/S2007-5057(13)72715-7)

- Hakeem, K. R., Jawaid, M., & Rashid, U. (2015). Biomass and bioenergy: Applications. *Biomass and Bioenergy: Applications*, 1–397. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-07578-5>
- Juárez Alvarado, C. A., Rodríguez López, P., Rivera Villarreal, R., & Roth, V. (2004). *Uso de fibras naturales de lechuguilla como refuerzo en concreto Ma. De los Ángeles Rechy de. VII(22)*.
- Koch, C., Georgieva, K., Kasireddy, V., Akinci, B., & Fieguth, P. (2015). A review on computer vision based defect detection and condition assessment of concrete and asphalt civil infrastructure. *Advanced Engineering Informatics*, 29(2), 196–210. <https://doi.org/10.1016/J.AEI.2015.01.008>
- Kolappan Geetha, G., & Sim, S. H. (2022). Fast identification of concrete cracks using 1D deep learning and explainable artificial intelligence-based analysis. *Automation in Construction*, 143, 104572. <https://doi.org/10.1016/J.AUTCON.2022.104572>
- Li, D., Huang, P., Chen, Z., Yao, G., Guo, X., Zheng, X., & Yang, Y. (2020). Experimental study on fracture and fatigue crack propagation processes in concrete based on DIC technology. *Engineering Fracture Mechanics*, 235. <https://doi.org/10.1016/j.engfracmech.2020.107166>
- Mora Muñoz, E., ; Fierro Ramos, F., Godoy Collaguazo, O., Ramírez Encalada, E., & Naranjo Toro, M. (2021). Evaluación de las propiedades físicas de la fibra de Abacá (Musa 57extiles). *Revista Biorrefinería*, 4.
- Ms.Ing.Segerer, M. (2008). *Los cuándo, por qué y cómo de las fisuras en el hormigón fresco – Asociación Argentina del Hormigón Elaborado. PATOLOGIAS*. <https://hormigonelaborado.com/los-cuando-por-que-y-como-de-las-fisuras-en-el-hormigon-fresco-2/>
- Muthusamy, K., Wong, W. H., Mohamad, N., Rajan, J., Budiea, A. M. A., P.P. Abdul Majeed, A., & Kirgiz, M. S. (2024). Properties of concrete containing coal bottom ash as hydraulic binder substitution. *Advance Upcycling of By-Products in Binder and Binder-Based Materials*, 243–250. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-90791-0.00002-0>

- Ohno, K., Uji, K., Ueno, A., & Ohtsu, M. (2014). Fracture process zone in notched concrete beam under three-point bending by acoustic emission. *Construction and Building Materials*, 67(PART B), 139–145. <https://doi.org/10.1016/J.CONBUILDMAT.2014.05.012>
- Olivera Pérez, Y. I., Guevara Saravia, S. P., Muñoz Pérez, S. P., Olivera Pérez, Y. I., Guevara Saravia, S. P., & Muñoz Pérez, S. P. (2022). Revisión sistemática de la literatura sobre la mejora de las propiedades mecánicas del hormigón con fibras de origen artificial-natural. *Ingeniería*, 27(2), e18207. <https://doi.org/10.14483/23448393.18207>
- Parker. (2005). *FISURAS POR RETRACCIÓN PLÁSTICA*.
- Passuello, A., Moriconi, G., & Shah, S. P. (2009). Cracking behavior of concrete with shrinkage reducing admixtures and PVA fibers. *Cement and Concrete Composites*, 31(10), 699–704. <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2009.08.004>
- S, A. V., & S, R. K. M. (2023). Review on the mechanism and mitigation of cracks in concrete. *Applications in Engineering Science*, 16. <https://doi.org/10.1016/j.apples.2023.100154>
- Singh, M. (2018). Coal bottom ash. *Waste and Supplementary Cementitious Materials in Concrete: Characterisation, Properties and Applications*, 3–50. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-102156-9.00001-8>
- Tayebani, B., Said, A., & Memari, A. (2023). Less carbon producing sustainable concrete from environmental and performance perspectives: A review. *Construction and Building Materials*, 404, 133234. <https://doi.org/10.1016/J.CONBUILDMAT.2023.133234>
- Técnicas Aplicadas, C., Carlos Gómez Alcívar, J. I., Daniel Pacheco Delgado, J. I., & Ernesto Egüez Álava III, H. (2023). Análisis de las Propiedades de una Base de Agregados Estabilizada con Cemento y con Refuerzo de Fibra de Abacá. *Dominio de Las Ciencias*, 9(3), 791–817. <https://doi.org/10.23857/DC.V9I3.3472>

- TIPOS DE FISURAS EN EL HORMIGÓN ARMADO – ISOSTATIKA. (2021). <https://isostatika.com/blog/fisuras-hormigon/>
- Toirac Corral, J. (2004). Patología de la construcción : grietas y fisuras en obras de hormigón ; origen y prevención. *Ciencia y Sociedad*, 29(1), 72–114. <https://doi.org/10.22206/CYS.2004.V29I1.PP72-114>
- Totoy Benavides, M. G. (2007). *PRODUCCION Y EXPORTACION DE FIBRA DE ABACA*.
- Valdés, G. A., & Rapimán, J. G. (2007). Propiedades Físicas y Mecánicas de Bloques de Hormigón Compuestos con Áridos Reciclados. *Información Tecnológica*, 18(3), 81–88. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642007000300010>
- Vieira, D. R., Calmon, J. L., & Coelho, F. Z. (2016). Life cycle assessment (LCA) applied to the manufacturing of common and ecological concrete: A review. *Construction and Building Materials*, 124, 656–666. <https://doi.org/10.1016/J.CONBUILDMAT.2016.07.125>
- Wang, L., He, T., Zhou, Y., Tang, S., Tan, J., Liu, Z., & Su, J. (2021). The influence of fiber type and length on the cracking resistance, durability and pore structure of face slab concrete. *Construction and Building Materials*, 282, 122706. <https://doi.org/10.1016/J.CONBUILDMAT.2021.122706>
- Wietek, B. (2021). Properties. In *Fiber Concrete* (pp. 77–119). Springer Fachmedien Wiesbaden. [https://doi.org/10.1007/978-3-658-34481-8\\_6](https://doi.org/10.1007/978-3-658-34481-8_6)
- Zhu, Z., German, S., & Brilakis, I. (2010). Detection of large-scale concrete columns for automated bridge inspection. *Automation in Construction*, 19(8), 1047–1055. <https://doi.org/10.1016/J.AUTCON.2010.07.016>

## 6. ANEXOS

### 6.1 Anexo A. tablas

**Tabla 1.** Tamaño de la muestra para ensayo de árido grueso.

Tamaño máximo nominal, Aberturas cuadradas, mm (pulg.)	Tamaño de la muestra de ensayo mínimo, Kg (lb).
9,5 (3/8)	1 (2)
12,5 (1/2)	2 (4)
19,0 (3/4)	5 (11)
25,0 (1)	10 (22)
37,5 (1 ½)	15 (33)
50 (2)	20 (44)
63 (2 ½)	35 (77)
75 (3)	60 (130)
90 (3 ½)	100 (22)
100 (4)	150 (330)
125 (5)	300 (660)

**Elaborado por:** Chariguaman, J.

**Fuente:** (ASTM C136/136M-19)

**Tabla 2.** Masa mínima de la muestra de ensayo.

Tamaño máximo nominal, mm	Masa mínima de la muestra para el ensayo, Kg
12.5 o menor	2
19	3
25	4
37.5	5
50	8
63	12
75	18
90	25
100	40
125	75

**Elaborado por:** Chariguaman, J.

**Fuente:** (NTE INEN 857:2010)

**Tabla 3.** Capacidad de los moldes a utilizar para los ensayos de los agregados

Tamaño máximo nominal del agregado, (mm)	Capacidad nominal del molde, m <sup>3</sup> (litros)
12,5	0,0028 (2.8)
25	0,0093 (9.3)
37,5	0,014 (14)
75	0,028 (28)
100	0,070 (70)
125	0,100 (100)

**Elaborado por:** Chariguaman, J.

**Fuente:** (NTE INEN 858:2010)

**Tabla 4.** Resistencia promedio solicitada a compresión, Mpa.

Resistencia Especifica $f'_c$ (Mpa)	Resistencia Promedio Requerida $f'_{cr}$ (Mpa)
$f'_c < 20$	$f'_{cr} = f'_c + 7.0$
$20 \leq f'_c \leq 35$	$f'_{cr} = f'_c + 8.5$
$f'_c > 35$	$f'_{cr} = 1.10f'_c + 5.0$

**Elaborado por:** Chariguaman, J.

**Fuente:** (ACI 318S-08, 2008)

**Tabla 5.** Asentamientos recomendados para distintos tipos de construcción.

Asentamiento recomendado para diversos tipos de construcción		
Tipo de construcción	Asentamiento (cm)	
	Máximo	Mínimo
Muros de cimentación y zapatas	7,5	2,5
Zapatas y muros de sub- estructura 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)



**Tabla 6.** Volumen teórico de agua en relación con el tamaño máximo del agregado grueso y el asentamiento.

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

**Fuente:** (Luna, 2014)

**Tabla 7.** Volumen en m<sup>3</sup> del agregado grueso seco y compactado por m<sup>3</sup> de hormigón.

Tamaño máximo nominal del agregado grueso		Volumen en m <sup>3</sup> de agregado grueso seco y compactado, por m <sup>3</sup> de hormigón							
		Módulo de finura del agregado fino							
cm	pulg	2,3	2,4	2,5	2,6	2,7	2,8	2,9	3
1,00	3/8	0,47	0,46	0,45	0,44	0,43	0,42	0,41	0,4
1,25	1/2	0,56	0,55	0,54	0,53	0,53	0,52	0,5	0,49
1,90	3/4	0,66	0,65	0,64	0,63	0,62	0,61	0,6	0,59
2,54	1	0,71	0,7	0,69	0,68	0,67	0,66	0,65	0,64
3,81	1 1/2	0,77	0,76	0,75	0,74	0,73	0,72	0,71	0,7
5,08	2	0,8	0,79	0,78	0,77	0,76	0,75	0,74	0,73
7,62	3	0,85	0,84	0,83	0,82	0,81	0,8	0,79	0,78

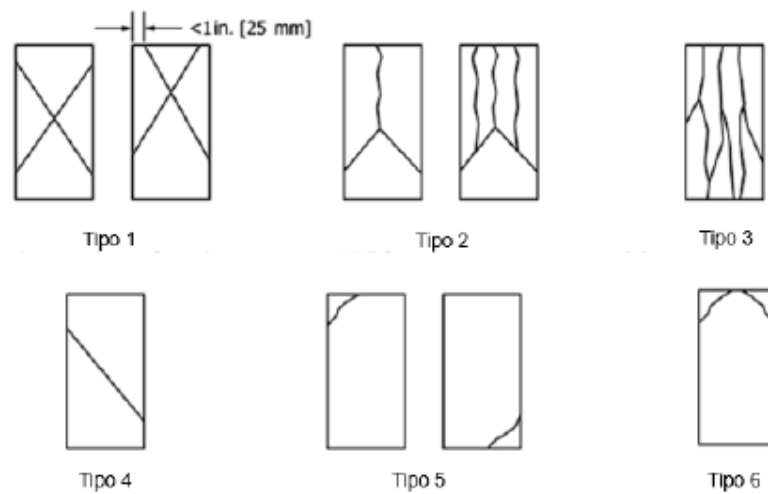
**Fuente:** (Luna, 2014)

**Tabla 8.** Relación agua-cemento.

Relacion agua-cemento (litros/kg de cemento)	Litros de agua por cada saco de 50 kg de cemento	Resistencia probable a la compresión a los 28 días (kgf/cm <sup>2</sup> )	
		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	210	280
0,705	35,5	180	140
0,8	40	140	110

**Fuente:** (Luna, 2014)

## 6.2 Anexo B. figura 13



**Figura 13.** Tipo de fallas en cilindros ensayados a compresión.

**Fuente:** (ASTM C39, 2021)

- **Tipo 1:** formación de conos en ambos extremos con fisuras no menores de 25 mm.
- **Tipo 2:** se trata de un cilindro con un extremo cónico bien definido y grietas verticales a lo largo del resto del cilindro.

- **Tipo 3:** fisuras verticales que atraviesan todo el cilindro.
- **Tipo 4:** fractura diagonal sin presencia de fisuras en los bordes, para diferenciar de la falla tipo 1 es necesario separar su fractura con un mazo y verificar que no tenga formación parcial de conos.
- **Tipo 5:** fracturas en los extremos tanto inferior y superior.
- **Tipo 6:** fractura en un solo extremo del cilindro.

### 6.3 Anexo C. resultado de losetas con fibra de abacá al 0.75%

Placa 1



## Placa 2



**Placa 3**



## Placa 4



## Placa 5





## Placa 6



## Anexo 1. Granulometría de agregado fino



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



### ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO

Código de informe: GRF-23-007-I

Fecha de informe: 2023-05-25

Hoja 01 de 01

#### DATOS DEL CLIENTE

Razón social: José Antonio Cheriguazán Charsteig

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 clasificación con tratamiento químico"

Contratante: \*\*\*

Contratista: \*\*\*

Fiscalizador: \*\*\*

MUESTRA: Agregado fino

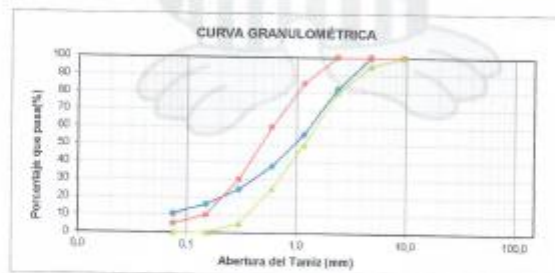
PROCEDENCIA: \*\*\*

FECHA DE ENSAYO: 2023-02-15

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. 15	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		349,4			

**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 2. Granulometría de agregado grueso.



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



### ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO

Código de Informe: GRG-23-002-I  
Fecha de Informe: 2023-08-29

Hoja 01 de 01

#### DATOS DEL CLIENTE

Razón social: José Antonio Chariguamán Chantaspig  
Dirección: Ladrón de Guevara E11-253 y Andalucía  
Teléfono: \*\*\*

#### DATOS DEL PROYECTO

Proyecto: "Estudio del hormigón con fibras naturales de abaca como componente en la dosificación con tratamiento químico"  
Contratante: \*\*\*  
Contratista: \*\*\*  
Fiscalizador: \*\*\*  
MUESTRA: Agregado grueso - chispa 30"  
PROCEDENCIA: \*\*\*  
FECHA DE ENSAYO: 2023-02-16  
NORMA: ASTM C136C136M

Tamiz No.	Peso Inicial (g)	Tamaño Abertura (mm)	Número de Tamaño		
			Peso Retenido (g)	Porcentaje Retenido (%)	Porcentaje Retenido Acumulado (%)
3/4"	19,00	19,00	0,0	0,0	100,0
1/2"	12,60	12,60	1,9	0,2	99,8
3/8"	9,50	9,50	172,5	17,0	82,8
No. 4	4,75	4,75	848,4	63,9	81,0
No. 8	2,36	2,36	162,5	16,0	97,1
Bandaje	-	-	29,9	2,9	100,0
			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 Villalba  
JEFE DE LABORATORIO



Telf.: 2976300  
Ext.: 1609

F-74-09

### Anexo 3. Gravedad específica y absorción de agregados



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



#### GRAVEDAD ESPECÍFICA Y ABSORCIÓN DE AGREGADOS

Código de informe: GSA-23-007-1  
Fecha de informe: 2023-08-25

Hoja 01 de 01

##### DATOS DEL CLIENTE

Razón Social: José Antonio Chariguamán Chanatazig  
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: Indizada  
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-IH-01	Arena	2,580	2,835	2,731	2,15
009-IH-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 Vélez  
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 4. Densidad aparente.



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



### DENSIDAD APARENTE

Código de Informe: DA-23-007-1  
Fecha de Informe: 2023-08-26

Hoja 01 de 01

#### DATOS DEL CLIENTE

Razón Social: José Antonio Chariguamán Chanatasig  
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: 2023-02-18  
NORMA: ASTM C29

DENSIDAD APARENTE DE AGREGADOS					
Identificación	Descripción	Muestra Suelta		Muestra Compactada	
		Densidad seca (kg/m <sup>3</sup> )	Contenido de vacíos (%)	Densidad seca (kg/m <sup>3</sup> )	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 Vilacis  
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 5. Contenido orgánico.



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



### CONTENIDO ORGÁNICO

Código de Informe: CO-23-007-I  
Fecha de Informe: 2023-09-25

Hoja 01 de 01

#### DATOS DEL CLIENTE

Razón Social: José Antonio Chariguamán Chanataag  
Dirección: Ladrón de Guevara E11-253 y Andalucía  
Teléfono: \*\*\*

#### DATOS DEL PROYECTO

Proyecto: "Estudio del hormigón con fibras naturales de abaca 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



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 items 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 Vilcoto  
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 6. Compresión de cilindros de hormigón simple



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



**COMPRESIÓN DE CILINDROS DE HORMIGÓN**

Código de Informe: CC-23-008-I  
Fecha de informe: 2023-06-25

Hoja 02 de 02

**DATOS DEL CLIENTE**  
Razón social: José Antonio Changuarán Charatag  
Dirección: Ladrón de Guevara E11-253 y Andalucía  
Teléfono: \*\*\*

**DATOS DEL PROYECTO**  
Proyecto: "Estudio del hormigón con fibras naturales de abaca como componente en la dosificación con tratamiento químico"  
Contratante: \*\*\*  
Contratista: \*\*\*  
Fiscalizador: \*\*\*  
ELEMENTO: Cilindro de hormigón simple  
NORMA: ASTM C39

No.	Identificación	Fecha fabricación	Fecha rotura	Edad (días)	Diámetro (mm)	Área (mm <sup>2</sup> )	Peso específico (kg/m <sup>3</sup> )	Carga Máxima (kN)	Tipo de falla	Defectos	Resistencia	
											(MPa)	±U
1	C-H-S	2023-06-26	2023-07-05	7	101,75	8131	2249	101,0	Tipo 2	A	18,6	0,02
2	C-H-S	2023-06-26	2023-07-12	14	102,25	8211	2226	216,4	Tipo 2	A	20,5	0,02
3	C-H-S	2023-06-26	2023-07-26	28	101,75	8131	2256	247,8	Tipo 5	A	30,4	0,03

**Tipo de falla**



**Tipo 1**  
Cilindro en estado de rotura por compresión, rotura por compresión, rotura a través de la totalidad entre a 28 mm.



**Tipo 2**  
Como bien formado en uno de los extremos, rotura por compresión, rotura a través de la totalidad, como no hay defectos en el otro extremo.



**Tipo 3**  
Fuerza vertical superior o base de ambos extremos, como no hay defectos.



**Tipo 4**  
Fuerza diagonal en forma de triángulo de un extremo, rotura con un trazo para seguir al Tipo 1.



**Tipo 5**  
Rotura a los lados en el cilindro superior o en el todo rotura consumiendo cuando se ensaya con flexión.



**Tipo 6**  
Rotura al Tipo 5 pero a través del cilindro más se puede.

**Descripción de defectos:** A = Hongo; B = Regresión; C = Porosidad; D = Fugas persistentes; E = Otro.

**Observaciones:**  
Todos los datos del ítem de ensayo (fecha de fabricación, edad, identificación) son proporcionados 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, expresado en MPa, representa la incertidumbre asociada de los resultados.  
El tipo de falla y defectos corresponden a la especificación en la norma ASTM C39.  
Los parámetros que se actualizan resultados con (T) no se encuentran dentro del alcance de acreditación.  
Los parámetros de las muestras ensayadas con (F) no se encuentran dentro del alcance de acreditación.  
El contenido del presente informe no podrá reproducirse ni general ni totalmente sin la autorización del LEMSUR.



**Jefe de Laboratorio**



FC-48  
Versión 03

Tel.: 2976300  
Ext.: 1609

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

76

# Anexo 7. Compresión de cilindros de hormigón con fibra al 0.75%.



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



## COMPRESIÓN DE CILINDROS DE HORMIGÓN

Código de informe: CC-23-0061  
 Fecha de informe: 2023-06-25

Hoja 01 de 02

**DATOS DEL CLIENTE**

Razón social: José Antonio Chertguamán Chenataig  
 Dirección: Ladrón de Guevara E11-253 y Andalucía  
 Teléfono: \*\*\*

**DATOS DEL PROYECTO**

Proyecto: "Estudio del hormigón con fibras naturales de abaca como componente en la deshidratación con tratamiento químico"  
 Contratante: \*\*\*  
 Contratista: \*\*\*  
 Fiscalizador: \*\*\*  
 ELEMENTO: Cilindro de hormigón con fibra abacá  
 NORMA: ASTM C39

No.	Identificación	Fecha fabricación	Fecha rotura	Edad (días)	Dímetro (mm)	Área (mm <sup>2</sup> )	Peso <sup>a</sup> específico (kg/m <sup>3</sup> )	Carga Máxima (kN)	Tipo de falla	Defectos	Resistencia (MPa)	±U
1	C-HF-075%	2023-07-05	2023-07-12	7	101.75	8131	2200	112.1	Tipo 2	A	13.8	0.01
2	C-HF-075%	2023-07-05	2023-07-12	7	101.50	8091	2210	107.3	Tipo 2	A	13.3	0.01
3	C-HF-075%	2023-07-06	2023-07-12	7	102.00	8171	2221	125.3	Tipo 6	A	12.9	0.01
4	C-HF-075%	2023-07-06	2023-06-28	28	101.75	8131	2244	130.3	Tipo 2	A	23.4	0.02
5	C-HF-075%	2023-07-06	2023-06-22	28	102.25	8211	2255	134.7	Tipo 2	A	23.6	0.02
6	C-HF-075%	2023-07-06	2023-06-22	28	102.25	8202	2226	173.4	Tipo 2	A	21.6	0.02



Descripción de defectos: A = Ninguno, B = Segregado, C = Porosidad, D = Faltas preexistentes, E = Otro

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

Los resultados reportados en el presente informe corresponden a los ensayos realizados en el laboratorio de ensayos de materiales de la Escuela Politécnica Nacional, en las condiciones de ensayo especificadas en el presente informe.

U, expresado en MPa, representa la incertidumbre asociada de los resultados.

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

Los defectos que se encuentran señalados en el (C) no se encuentran dentro del alcance de investigación.

Los resultados de las muestras señaladas en el (C) no se encuentran dentro del alcance de investigación.

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

Ing. Mercedes Viscacha  
 JEFE DE LABORATORIO





## Anexo 8. Flexión en vigas de hormigón con fibra al 0.75% y vigas de hormigón simple.



### FLEXIÓN EN HORMIGÓN

Código de Informe: FLEXV-23-002-I  
 Fecha de Informe: 2023-08-25

Hoja 01 de 01

#### DATOS DEL CLIENTE

Razón social: José Antonio Chariguamán Chanataisig  
 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	2023-07-19	V-H-F 0,75%	2023-07-28	7	101	100	358	10120	3,55
2	2023-07-19	V-H-F 0,75%	2023-07-28	7	101	100	358	9020	3,15
3	2023-07-19	V-H-F 0,75%	2023-07-28	7	102	100	354	10275	3,50
4	2023-07-19	V-H-F 0,75%	2023-08-16	28	102	102	352	11788	3,90
5	2023-07-19	V-H-F 0,75%	2023-08-16	28	103	100	354	11670	3,90
6	2023-07-19	V-H-F 0,75%	2023-08-16	28	104	101	354	12403	4,00
7	2023-06-28	V-H-S	2023-07-05	7	101	102	351	10222	3,45
8	2023-06-28	V-H-S	2023-07-12	14	103	102	353	10397	3,40
9	2023-06-28	V-H-S	2023-07-28	28	103	101	354	10805	3,60


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 ítem 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 Vilacís  
 JEFE DE LABORATORIO




Tel.: 2976300  
 Ext.: 1609

Anexo 9. Propiedades de fibras de abacá sin tratamiento.



**ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL**  
**DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA QUÍMICA**  
**CENTRO TEXTIL POLITÉCNICO**





Página 2 de 4

**INFORME No. CTP-ITI-2023-04-01**  
**FIBRAS DE ABACÁ SIN TRATAMIENTO**

Resistencia y elongación a la rotura, tenacidad (ASTM D 2256), velocidad de prueba 8 mm/min

Probeta	Fuerza rotura [N]	Elongación [%]	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	50,7
4	31,6	2,9%	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	86,9	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%	31,0	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	1,6%	113,3	51,7
24	67,2	3,7%	103,3	65,1
25	49,3	2,8%	121,4	40,6
26	58,2	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
Medio	47,9	3,2%	89,3	54,0
Desviación estándar	15,61	3,0%	22,6	12,0







Los resultados de este informe son válidos exclusivamente a las muestras, productos o materiales entregados al Centro Textil Politécnico y no puede ser usado a fines de producción o comercialización. La reproducción de este informe solo se autoriza si se hace en su totalidad.

Dirección: Av. México N21-441 y Veintiseis. Telefonos: 2976 331 - 3938 780 Ext. 4306-4306-43-07  
E-mail: [centro.textil@upn.edu.ec](mailto:centro.textil@upn.edu.ec); [iti@upn.edu.ec](mailto:iti@upn.edu.ec)

**Anexo 10. Propiedades de las fibras de abacá con tratamiento de NaOH.**



**ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL**  
**DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA QUÍMICA**  
**CENTRO TEXTIL POLITÉCNICO**




**INFORME No. CTP-ITI-2023-04-01**


**FIBRAS DE ABACÁ CON TRATAMIENTO**

Resistencia y elongación a la rotura, tenacidad (ASTM D 2256), velocidad de prueba 8 mm/min

Página 4 de 4

Prueba	Fuerza rotura [N]	Elongación [%]	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%	66,1	37,1
18	16,0	2,1%	35,7	44,8
19	30,8	2,6%	72,9	47,3
20	16,4	2,4%	14,3	47,9
21	25,3	2,3%	68,6	16,9
22	24,5	2,6%	34,3	13,0
23	23,9	2,0%	63,3	16,1
24	27,9	3,1%	76,7	16,4
25	52,6	3,7%	112,4	46,8
26	17,3	1,3%	64,8	26,3
27	16,5	1,9%	55,7	29,6
28	30,5	1,9%	80,0	18,2
29	22,9	1,8%	71,0	32,2
30	32,0	1,8%	86,7	37,0
31	12,2	3,7%	64,8	49,7
32	18,9	1,5%	55,2	34,2
33	40,8	3,3%	88,6	46,1
<b>Media</b>	<b>26,8</b>	<b>2,3%</b>	<b>68,0</b>	<b>41,0</b>
<b>Desviación estándar</b>	<b>9,0</b>	<b>1,0%</b>	<b>20,9</b>	<b>12,0</b>





Los resultados de este informe corresponden exclusivamente a las muestras, procesos o materiales entregados al Centro Textil Politécnico y no puede extenderse a otros de producción o consumo. La reproducción de este informe solo se autoriza si se hace en su totalidad.

Dirección: Avda. La Vía N°23-441 y Vía Santa Fe. Teléfonos: 2936 366 - 2936 389 Ext. 4765-4306-42-07  
 E-mail: [centraltextil@epn.edu.ec](mailto:centraltextil@epn.edu.ec) [info@centraltextil@epn.edu.ec](mailto:info@centraltextil@epn.edu.ec)

