

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL

ANÁLISIS DEL HORMIGÓN REFORZADO CON FIBRAS DE
CABUYA AL 0.5%, 0.75% Y 1% CON TRATAMIENTO QUÍMICO
COMPONENTE B: ANÁLISIS DEL HORMIGÓN REFORZADO CON
FIBRAS DE CABUYA AL 0.75% CON TRATAMIENTO QUÍMICO

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

KARLA TAIZ MORALES SUPA

karla.morales01@epn.edu.ec

karlamorales2000@gmail.com

DIRECTOR: MSc. ING NICOLAY YANCHAPANTA GÓMEZ

nicolay.yanchapanta@epn.edu.ec

DMQ, febrero 2024

CERTIFICACIONES

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

KARLA TAIZ MORALES SUPA

Certifico que el presente trabajo de integración curricular fue desarrollado por Karla Taiz Morales Supa bajo mi supervisión.

MSc. NICOLAY YANCHAPANTA GÓMEZ
DIRECTOR

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.

KARLA TAIZ MORALES SUPA

NICOLAY BERNARDO YANCHAPANTA GOMEZ

DEDICATORIA

A mis padres Raúl y Natalia por ser guía, apoyo e inspiración constante para el cumplimiento de mis sueños y metas.

A mi hermana Kimberly por ser soporte y compañía tanto en mis momentos felices como en los más complicados.

A mi hermano Daniel por ser ejemplo clave de que tomar riesgos resulta ser satisfactorio cuando lo juntamos con responsabilidad.

A mi persona especial, Eva por ser fuente de protección, amor y bondad desde mi infancia hasta mi presente. Aunque ya no estés físicamente, tu esencia y tus enseñanzas perduran en mí.

A mis familiares y amigos por ser creyentes de mis propósitos, cada pequeña o gran acción que llevaron a cabo se convierte, al final, en algo grandioso en mi corazón.

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios, por ayudarme a avanzar un escalón más en el camino hacia la realización de mis metas, sueños y propósitos de vida.

A mi familia, por acompañarme en este viaje tanto educativo como personal. Por enseñarme que un triunfo es resultado del esfuerzo y trabajo constante.

A mis compañeros de toda la carrera universitaria Nayeli y Emilio, por complementar mis ideas y contribuir a mi desarrollo académico.

A la Escuela Politécnica Nacional, por acogerme en su institución para estudiar la carrera de Ingeniería Civil y ahora poder culminarla. También a aquellos que conforman la FICA, facultad que me ha brindado conocimientos y experiencias memorables dentro de mi formación académica.

Al LEMSUR, por guiar los procedimientos y ensayos del proyecto dentro de sus instalaciones.

A mi director MSc. Nicolay Yanchapanta por contribuir con su conocimiento y experiencia al desarrollo, avance y finalización de este trabajo de integración curricular.

ÍNDICE DE CONTENIDO

CERTIFICACIONES	I
DECLARACIÓN DE AUTORÍA	II
DEDICATORIA	III
AGRADECIMIENTO	IV
ÍNDICE DE CONTENIDO	V
RESUMEN.....	XI
ABSTRACT	XII
1. INTRODUCCION	1
1.1 Objetivo general	2
1.2 Objetivos específicos.....	2
1.3 Alcance	2
1.4 Marco teórico.....	3
1.4.1 Características del Hormigón.....	3
1.4.2 Componentes	3
1.4.3 Dosificación del Hormigón	4
1.4.4 Empleo de Fibras en el Hormigón.....	5
1.4.5 Fibra de Cabuya.....	6
2. METODOLOGÍA	10
2.1 Adquisición Materiales.....	10
2.2 Agregado Grueso	11
2.2.1 Granulometría	11
2.2.2 Densidad Relativa y Absorción	12
2.2.3 Densidad Aparente Suelta y Compactada	14
2.2.4 Abrasión	15
2.2.5 Pasa Tamiz 200.....	16
2.2.6 Resumen de resultados para Agregado Grueso	17
2.3 Agregado Fino.....	18
2.3.1 Densidad Relativa y Absorción	18
2.3.2 Contenido Orgánico.....	19
2.3.3 Resumen de resultados para Agregado Fino.....	20
2.4 Cemento.....	20
2.4.1 Densidad Real.....	20

2.4.2	Resumen de resultados para Cemento	21
2.5	Fibras De Cabuya	21
2.5.1	Preparación de Fibras	21
2.5.2	Tratamiento de Fibra	22
2.5.3	Ensayo Propiedades Mecánicas.....	23
2.6	Dosificación.....	23
2.6.1	Cantidad de Probetas.....	23
2.6.2	Preparación de Mezcla.....	24
2.6.3	Preparación y Curado de Cilindros	25
2.6.4	Preparación y Curado de Vigas	25
2.6.5	Ensayo a Compresión en Cilindros.....	26
2.6.6	Ensayo de Flexión en Vigas	27
3.	RESULTADOS, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	27
3.1	Resultados	27
3.1.1	Propiedades mecánicas de la fibra de cabuya.....	27
3.1.2	Resistencia a la Compresión	29
3.1.3	Resistencia a la flexión	32
3.1.4	Deflexión en Vigas.....	33
3.2	Conclusiones.....	36
3.3	Recomendaciones.....	38
4.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	39
5.	ANEXOS	44
	Anexo 1: Granulometría del Agregado Grueso.....	44
	Anexo 2: Densidad Relativa y Absorción del Agregado Grueso	45
	Anexo 3: Densidad Aparente del Agregado Grueso	46
	Anexo 4: Abrasión del Agregado Grueso	47
	Anexo 5: Pasa Tamiz 200 del Agregado Grueso.....	48
	Anexo 6: Granulometría del Agregado Fino	49
	Anexo 7: Densidad Relativa y Absorción del Agregado Fino.....	50
	Anexo 8: Densidad Aparente del Agregado Fino.....	51
	Anexo 9: Contenido Orgánico del Agregado Fino.....	52
	Anexo 10: Pasa Tamiz 200 del Agregado Fino.....	53
	Anexo 11: Densidad Real del Cemento.....	54
	Anexo 12: Ensayos en Fibra con Tratamiento.....	55
	Anexo 13: Ensayos en Fibra sin Tratamiento	57

Anexo 14: Compresión de Cilindros de Hormigón Patrón.....	59
Anexo 15: Compresión de Cilindros de Hormigón con Fibras.....	60
Anexo 16: Flexión en Vigas de Hormigón Patrón	61
Anexo 17: Flexión en Vigas de Hormigón con Fibras	62

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Agave Sisalana	6
Figura 2. Zonas de la Fibra	7
Figura 3. Composición Transversal de Fibra	8
Figura 4. Composición de Fibra	9
Figura 5. Agregado Grueso.....	10
Figura 6. Agregado Fino	10
Figura 7. Serie de tamices utilizados.....	11
Figura 8. Densidad Relativa	13
Figura 9. Densidad Aparente Suelta y Compactada.....	14
Figura 10. Pasa Tamiz 200	17
Figura 11. Escala de Garnier para contenido orgánico.....	20
Figura 12. Densidad Real del Cemento.....	21
Figura 13. Fibra Cortada	22
Figura 14. Preparación de Mezcla.....	24
Figura 15. Preparación y Curado de Cilindros	25
Figura 16. Preparación y Curado de Vigas.....	26
Figura 17. Ensayo a Compresión	26
Figura 18. Ensayo a Flexión.....	27
Figura 19. Fuerza de Rotura	28
Figura 20. Elongación	28
Figura 21. Densidad Lineal	29
Figura 22. Tenacidad	29
Figura 23. Desempeño del Hormigón.....	31
Figura 24. Comparación de Resistencias Promedio.....	31
Figura 25. Comparación Cargas Máximas Promedio	33
Figura 26. Curva Carga-Deformación a 7 días	35
Figura 27. Curva Carga-Deformación a 29 y 32 días	36

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Relaciones respecto al día 28 día de	4
Tabla 2. Composición de Fibras	8
Tabla 3. Propiedades generales de las fibras de cabuya.....	8
Tabla 4. Tamaño mínimo para el agregado grueso	11
Tabla 5. Tamaño de muestra.....	15
Tabla 6. Numero de Esferas para ensayo de abrasión	15
Tabla 7. Masa Mínima por Tamaño Máximo Nominal.....	16
Tabla 8. Resultados de Ensayos de Agregado Grueso	17
Tabla 9. Resultados de Ensayos de Agregado Fino	20
Tabla 10. Resultados de Ensayos del Cemento	21
Tabla 11. Dosificación Planteada en base al ACI	23
Tabla 12. Cantidad Probetas	24
Tabla 13. Cantidades de Componentes.....	24
Tabla 14. Propiedades mecánicas de la fibra de cabuya.....	27
Tabla 15. Resistencia a la Compresión Hormigón Simple	29
Tabla 16. Resistencias Promedio para Hormigón Simple	30
Tabla 17. Resistencia a la Compresión Hormigón con Fibras.....	30
Tabla 18. Resistencias Promedio para Hormigón con Fibras	30
Tabla 19. Comparación de Resistencias Promedio	31
Tabla 20. Ensayo a Flexión Hormigón Simple	32
Tabla 21. Ensayo a Flexión Hormigón con Fibra	32
Tabla 22. Comparación de Cargas Máximas Promedio.....	32
Tabla 23. Resultados de deflexión para Hormigón Simple a los 7 días	33
Tabla 24. Resultados de deflexión para Hormigón con Fibra a los 7 días.....	34
Tabla 25. Resultados de deflexión para Hormigón Simple a los 29 días.....	34
Tabla 26. Resultados de deflexión para Hormigón con Fibra a los 32 días.....	34
Tabla 27. Deflexiones Promedio.....	36

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1. Módulo de Finura	12
Ecuación 2. Densidad del Agregado Grueso	13
Ecuación 3. Densidad SSS del Agregado Grueso	13
Ecuación 4. Densidad Aparente del Agregado Grueso	13
Ecuación 5. Absorción del Agregado Grueso.....	13
Ecuación 6. Masa Unitaria	15
Ecuación 7. Valor de Degradación.....	16
Ecuación 8. Porcentaje que pasa Tamiz 200	17
Ecuación 9. Densidad del Agregado Fino	18
Ecuación 10. Densidad S.S.S del Agregado Fino	19
Ecuación 11. Densidad Aparente del Agregado Fino.....	19
Ecuación 12. Absorción del Agregado Fino	19
Ecuación 13. Densidad del Cemento.....	21
Ecuación 14. Concentración de Hidróxido de Sodio	22

RESUMEN

El presente trabajo de integración curricular analiza el comportamiento del hormigón reforzado con fibras naturales de cabuya. Para introducir las fibras en el hormigón deberán atravesar una serie de procedimientos y cumplir con las normativas del: “Instituto Ecuatoriano de Normalización” (INEN), “American Concrete Institute” (ACI) y “American Society for Testing Materials” (ASTM)

Al adquirir la fibra se realiza el corte de estas en 4cm de longitud según lo establecido en ACI 544.4R-18 (2018). Para mejorar sus propiedades es necesario el tratamiento químico con hidróxido de sodio (NaOH) con un porcentaje de concentración al 6%, finalmente es necesario un proceso de constante lavado de las fibras y verificación del ph neutro para posterior secado.

En cuanto al hormigón, se realizan varias pruebas para determinar la dosificación patrón idónea. Luego de determinarla se hacen muestras de vigas y cilindros patrones. Se compara las propiedades obtenidas con un hormigón a la misma dosificación con adición de fibras tratadas al 0.75% en porcentaje en peso del agregado grueso. Estos resultados se analizarán a las edades de 7 y 28 días.

Se evidenció lo siguiente en el hormigón con fibra: una disminución del 12.62% en la resistencia a la compresión, un aumento de la carga máxima del 27.4% en flexión y una reducción de las deformaciones de un 15.8% a partir de los 28 días de análisis.

Palabras clave: cabuya, fibras naturales, hormigón reforzado

ABSTRACT

This curricular integration work analyzes the behavior of concrete reinforced with natural cabuya fibers. To introduce the fibers in the concrete, they must go through a series of procedures and comply with the regulations of: "Instituto Ecuatoriano de Normalización" (INEN), "American Concrete Institute" (ACI) and "American Society for Testing Materials" (ASTM).

When acquiring the fiber, it is cut in 4cm length according to ACI 544.4R-18 (2018). To improve its properties, it is necessary the chemical treatment with sodium hydroxide (NaOH) with a concentration percentage of 6%, finally it is necessary a process of constant washing of the fibers and verification of the neutral ph for subsequent drying.

As for the concrete, several tests are conducted to determine the ideal standard dosage. After determining it, samples of beams and standard cylinders are taken. The properties obtained are compared with some concrete at the same dosage with the addition of treated fibers at 0.75% as a percentage by weight of the coarse aggregate. These results will be analyzed at ages 7 and 28 days.

The following was evidenced in the fiber concrete: a 12.62% decrease in compressive strength, a 27.4% increase in peak load in flexure and a 15.8% reduction in deflections after 28 days of analysis.

KEYWORDS: cabuya, natural fibers, reinforced concrete

1. INTRODUCCION

El interés por el uso de fibras naturales ha aumentado significativamente durante los últimos años, dado que, estas presentan propiedades que evidencian cambios en el comportamiento de los materiales, en específico del desempeño del concreto reforzado para la producción de componentes constructivos (Sosa et al., 2011). Según el ACI, en su reporte sobre fibras (1996) expone que en lo que respecta al tema de fibras en general, se han desarrollado ampliamente compuestos fibrosos adecuados de acero, vidrio y fibras sintéticas, pero también se utilizan fibras vegetales como: sisal y yute para el reforzamiento del concreto.

De este antecedente, resulta la derivación de varias investigaciones experimentales y analíticas de manera intensificada. Un trabajo de investigación realizado por Khan et al. (2023), ensayó compuestos de polímero reforzado con fibras de sisal (SFRP) procedentes de un cultivo de Cha-Am en Tailandia como alternativa ante el uso de fibras artificiales para el reforzamiento de vigas de hormigón armado (RC). En el estudio se ensayaron 15 vigas RC, con 3 sistemas de anclaje y 2 tipos de reforzamiento evaluando la capacidad a flexión. Las fibras se fijaron como reforzamientos según los anclajes especificados luego de 28 días que las vigas RC curaran por si solas. Los resultados del programa evidenciaron: distribución consistente de grietas a lo largo de la viga y aberturas pequeñas; mejoramiento de la capacidad de carga última, ductilidad y capacidad de flexión de las vigas RC. A pesar de los resultados valiosos solo se dimensionan a vigas simplemente apoyadas.

Otro trabajo experimental realizado por Kumar y Roy en India (2017) aborda sobre las propiedades de flexión y fluidez del concreto compactante reforzado de fibras de acero con fibras de sisal o abacá en diferentes porcentajes evaluando propiedades de tracción y resistencia a flexión a los 7 y 28 días. El resultado experimental muestra mejoras en la trabajabilidad del concreto, sin embargo, las fibras de abacá demuestran ser más eficientes que las de sisal dada su componente de celulosa y presencia de compuestos orgánicos.

Un estudio sobre compuestos cementosos elaborados con fibras naturales realizado por Veigas et al. (2021) evaluó el comportamiento de fibras de sisal obtenidas de un cultivo de Kenia. Se utilizaron porcentajes de fibras de sisal de 0.8% a 2.6% en función al volumen de mezcla. A partir de los resultados obtenidos, se observaron mejoras notables en las propiedades de resistencia, en comparación con las mezclas que no contenían fibras. Específicamente, se registraron aumentos promedio del 20% y del 42% para las resistencias a la tracción y a la flexión respectivamente, determinando que las fibras de sisal eran eficaces para mitigar las grietas inducidas por la contracción plástica.

Tras la revisión de varias investigaciones, este trabajo propone la evaluación del comportamiento del hormigón en vigas y cilindros a los 7 y 28 días y la comparación de los resultados con un hormigón sin y otro con la adición de fibras de cabuya, procedentes de un cultivo de la serranía ecuatoriana al 0.75% de reemplazo en peso del agregado grueso.

Debido a que, los compuestos que contiene el cemento, es altamente alcalino, medio que contribuye a la rápida descomposición de fibras vegetales, se debe considerar la protección de las fibras mediante sumersión en una solución alcalina que contiene NaOH, para evitar el efecto de alcalinidad, mejoramiento de superficie y resistencia.

1.1 Objetivo general

Evaluar el comportamiento del hormigón reforzado con fibra natural de cabuya tratada químicamente con una concentración de hidróxido de sodio (NaOH) al 6% y posteriormente utilizada como reemplazo del 0.75% en peso del agregado grueso, como alternativa para mejoramiento en propiedades de resistencia a compresión y flexión.

1.2 Objetivos específicos.

1. Caracterizar los materiales adquiridos y en base a sus propiedades de: granulometría, densidad, humedad y contenido de materia orgánica proponer una dosificación patrón ideal.
2. Realizar un análisis comparativo de las propiedades mecánicas obtenidas en los ensayos de las fibras de cabuya tratada y sin tratamiento.
3. Evaluar comparativamente los resultados de los ensayos de flexión y de compresión con respecto al hormigón simple y al hormigón con fibra tratada de cabuya a las edades de 7 y 28 días.
4. Elaborar losetas de hormigón con dosificación patrón y con dosificación adicionando fibras tratadas de cabuya para comparar el nivel de agrietamiento posterior a la implementación de fibras.

1.3 Alcance

Este trabajo de investigación aborda el análisis del hormigón simple y el hormigón con fibras expuestas a un tratamiento químico con NaOH a una concentración del 6%.

Con la inclusión de fibras tratadas a la mezcla de hormigón simple, el objetivo es evaluar de manera comparativa los resultados de ensayos de resistencia a compresión de los cilindros y ensayo de flexión en vigas de la mezcla con fibras.

Dicho estudio contempla una serie de ensayos, que contribuyen a evaluar desde el análisis de cada componente de forma detallada hasta la obtención de resultados una vez ya elaborada la dosificación del hormigón con y sin adición de fibras naturales de cabuya.

1.4 Marco teórico

1.4.1 Características del Hormigón

El hormigón se conforma de cemento, agua, arena, grava y de adiciones a esta mezcla cuando se quiera proporcionar la mejora de ciertas propiedades como la fluidez, impermeabilidad, resistencia, etc. Las adiciones se añaden a la mezcla en su fase de elaboración (Páez, 1986).

1.4.2 Componentes

1.4.2.1 Agregados

Son gravas, arenas o piedra triturada, cuya función en complemento con el cemento y agua es la de proveer estabilidad y resistencia al desgaste. En la elaboración de hormigón ordinario, es decir, cuando no se requiere características especiales, las propiedades de interés en los agregados las contemplan: la forma, la porosidad y la clasificación de sus partículas (Nawy, 2008).

Entonces, el agregado fino o arena se refiere a aquel material que se filtra a través del tamiz N° 4. el material que queda sobre este tamiz es el agregado grueso o grava. (Nilson, 1999). La calidad de la grava y arena comprende la propiedad de mayor interés en el hormigón, la resistencia (Páez, 1996).

La norma ASTM C33, "Standard Specification for Concrete Aggregates" al igual que lo hace la NTE INEN 872, muestra los requisitos para agregados para el hormigón con una guía sobre su tratamiento y especificaciones.

1.4.2.2 Cemento

Es un componente que provee de propiedades adhesivas y cohesivas, capaces de formar una estructura compacta al aglutinar los fragmentos minerales que la componen (Neville, 2013).

Este componente al proporcionarle agua y combinarlo, se solidifica y adquiere resistencia tanto cuando está expuesto al aire como cuando está sumergido en agua. Se trata, por consiguiente, de un conglomerante hidráulico. El tipo más reconocido, es el Cemento Portland (Sanjuán y Chinchón, 2014).

El cemento Portland que se obtiene como resultado de pulverizar el Clinker. Se compone principalmente de silicatos de calcio hidráulicos cuya composición interna se integra con una cierta parte de sulfato de calcio (Mather y Ozyldirim, 2002).

1.4.2.3 Agua

Es el componente necesario para conformar una masa trabajable, que luego se rigidice de forma gradual hasta conformar una masa sólida (endurecimiento). La hidratación es continua, al tiempo que la mezcla va adquiriendo rigidez la fase de endurecimiento es la encargada de liberar calor de hidratación (Nilson, 1999)

1.4.3 Dosificación del Hormigón

La dosificación pretende mezclar adecuadamente los componentes con el fin de obtener hormigón con propiedades y características específicas. capaces de ofrecer la garantía correspondiente (Montoya, 2009).

El procedimiento para la adecuada proporción de componentes se encuentra descrito en la ACI 211-91 “Standard Practice for Selecting Proportions for Normal, Heavyweight, and Mass Concrete”.

1.4.3.1 Resistencia a la compresión

Característica imprescindible que permite establecer la carga soportada, se determina luego de realizar ensayos normalizados a través de probetas cilíndricas (Montoya, 2009).

Generalmente, los hormigones se distinguen como hormigones de resistencia normal y de alta resistencia. Siendo los de resistencia normal aquellos que adquieren valores de resistencia entre 20 MPa y 40 MPa, y los de alta resistencia aquellos con valores mayores (Nawy, 2008).

En la siguiente tabla se muestra la resistencia con relación a la del día 28 de curado:

Tabla 1. Relaciones respecto al día 28 día de

Edad del hormigón (días)	3	7	28
Cemento Portland Normal	0.40	0.65	1

Fuente: (Montoya, 2009)

1.4.3.2 Cantidad de Agua y Cemento

Según la ACI 211-91 (1991) exhibe que la relación entre estos dos componentes se define tomando consideración sobre requisitos de resistencia y durabilidad. Para los concretos de uso general, esta relación se mantiene típicamente dentro de un intervalo de 0.4 a 0.6 (Nilson, 1999).

Al dividir la cantidad de agua en litros por la relación agua-cemento, se obtendrá el importe en peso o en volumen del cemento.

1.4.3.3 Cantidad de agregados

Los agregados componen entre el 70% y 75% del volumen total del hormigón una vez endurecido, mientras que, la parte restante se conforma de la pasta endurecida, vacíos de aire y agua utilizada para la hidratación (Nilson, 1999).

Una vez calculadas las cantidades de agua, cemento, y arena, para la cantidad de agregado fino, se debe considerar 1m^3 (un metro cúbico de hormigón) y restar los volúmenes calculados previamente. Por último, para determinar los pesos de los diferentes componentes, se debe multiplicar los volúmenes por su respectiva densidad.

1.4.3.4 Corrección por Humedad de los Agregados

Luego de obtener adecuadamente la proporción de las diversas componentes, deben incluirse correcciones necesarias para confirmar que no existan variaciones con respecto a las características deseadas de resistencia y trabajabilidad (Montoya, 2009).

1.4.4 Empleo de Fibras en el Hormigón

Las fibras naturales por mucho tiempo solo se vincularon al área textil, sin embargo, hace algunos años nace el interés por incluirlas a la práctica de procesos constructivos (Llerena, 2014).

Según ACI544.1R-96 (2002), se las pueden obtener a bajos costos y con mano de obra local. Ellas se encuentran en cantidades convenientemente grandes, lo que las convierte en un recurso renovable. En los años recientes, el estudio de este tipo se ha intensificado y es por ello, que fibras como: sisal, coco, caña de azúcar, plátano, entre otras son conocidas. Por tal razón, potenciar el uso de dichos materiales es una forma de conseguir una construcción sostenible (Pacheco y Jalali, 2011). La cantidad de fibras a utilizar dependerá del tipo y geometría de las fibras y del uso final especificado (Mather y Ozyldirim, 2002).

Las propiedades de las fibras cambian dependiendo de la especie, el clima, el tipo de suelo, el método de extracción e incluso la temporada en la que fueron cosechadas (Llerena, 2014). Debido a su origen vegetal todas ellas mantienen una estructura celular, pero con diferente composición de celulosa, hemicelulosa y lignina en sus capas (Pacheco y Jalali, 2011).

El rol primordial de las fibras es el de unir las grietas que se puedan desarrollar en la matriz cementosa luego de atravesar cambios ambientales o a medida que se cargan los elementos, aunque también puede producir aumentos de resistencia. (Nawy, 2008)

Pese a la ventaja de obtención y bajo costo, la mayor de las desventajas se evidencia al exponerlas a la alcalinidad del hormigón, dicha propiedad puede deteriorar la fibra, descomponiendo la celulosa, hemicelulosa y lignina a niveles elevados (Llerena, 2014).

Por tal motivo, varios estudios han hecho hincapié en la búsqueda de tratamientos adecuados en las fibras para proporcionar la durabilidad al compuesto, reduciendo el desgaste a lo largo del tiempo ocasionado principalmente por el medio alcalino (Juárez y Rodríguez, 2003).

1.4.5 Fibra de Cabuya

1.4.5.1 Aspectos Generales

La fibra de sisal es aquella obtenida de las hojas del Agave Sisalana. La fibra, cuyo diámetro es menor que 0.2 mm, está contenida en las hojas, mismas que llegan a tener dimensiones de hasta 1.5 m (Gram, 1983).



Figura 1. Agave Sisalana

Fuente: (Bonells, 2019)

Reconocida por diferentes nombres por la procedencia del cultivo, esta planta es de fácil acceso, tiempos cortos de renovación y cultivo cómodo. Una planta potencial es capaz de

producir aproximadamente 200 hojas, componiéndose cada una por cerca del 4% de fibra, 0.75% de cutícula, 8% de otra materia seca y 87.25% de humedad, cada hoja consecuentemente contiene aproximadamente 1.000 fibras (Kuruvilla et al., 1999).

Estas fibras, por lo general son gruesas, y presentan mayor rigidez a la flexión y a la torsión, es por ello, que se las suele llamar fibras duras. Sin embargo, su clasificación es un tanto arbitraria, pero usualmente útil (Lewin, 2006).

1.4.5.2 Conceptualización en el Ecuador

En el Ecuador, debido a la diferente procedencia del cultivo de la planta, el sisal recibe el nombre de cabuya. El uso de estas fibras sugiere ser prometedor para el país, pese a ello su uso solo está limitado a la agricultura y el desarrollo en otro tipo de aplicaciones aún se encuentra en una fase incipiente (Pruna et al., 2020).

De acuerdo con los datos proporcionados por el Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca (MAGAP), Ecuador ha producido alrededor de 5400 toneladas de fibra de cabuya. Con el fin de investigar posibles usos y fomentar la creación de nuevos materiales compuestos biodegradables, diversas compañías en el país han realizado pruebas y análisis para evaluar la resistencia de esta fibra. (Pruna et al., 2020).

1.4.5.3 Composición

Longitudinalmente, en cada hoja destacan tres zonas. Zona periférica, son las filas que se encuentran en la periferia de las hojas, usualmente son llamadas fibras mecánicas. Zona media, conformada por una hilera que recorre toda la hoja en su parte central, son más gruesas que las fibras mecánicas, que son desprendidas con facilidad en el proceso de extracción y cepillado. Zona de tejido fundamental, situada entre las zonas media y periféricas, contiene una combinación de fibras mecánicas y de cinta (Lewin, 2006).

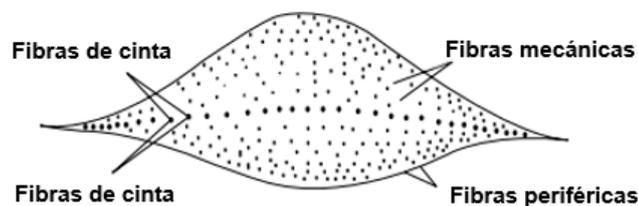


Figura 2. Zonas de la Fibra

Fuente: (Lewin, 2006)

Transversalmente, evidencia variación de sección, ya que, no es completamente circular a lo largo de toda la hoja. En la pared primaria, se presenta una estructura reticulada y en la

secundaria externa (S1), situada dentro de la pared primaria, las fibrillas adoptan una disposición espiral con un ángulo de espiral de 40 grados respecto al eje longitudinal de la célula. Por otro lado, las fibrillas de la pared secundaria interna (S2) en las fibras de cabuya muestran una pendiente más pronunciada, oscilando entre 18 y 25 grados. La pared terciaria, cuya estructura fibrilar es paralela, encierra el lumen (Gram, 1983).

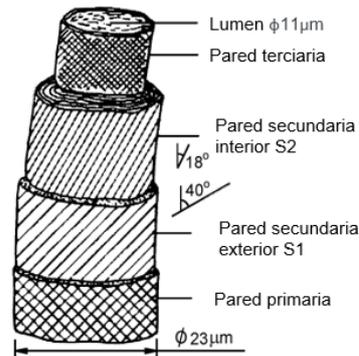


Figura 3. Composición Transversal de Fibra

Fuente: (Gram, 1983)

Las propiedades de las fibras de origen vegetal están influenciadas principalmente por factores como: composición química, ángulo microfibrilar, morfología y figuración de defectos. Su composición química, varía entre diferentes plantas, y en una misma planta también por las diferentes partes o zonas que la componen. Las propiedades específicas están estrechamente ligadas al contenido de cada uno de estos componentes: celulosa, hemicelulosa y lignina, siendo la pectina y la cera componentes secundarios (Awais et al., 2021).

Tabla 2. Composición de Fibras

Fibra	Celulosa (%)	Hemicelulosa (%)	Lignina (%)	Pectina (%)	Ángulo Microfibrilar (°)
Sisal	73	14	11	12	10-22

Fuente: (Awais et al., 2021)

Elaborado por: Morales, K

Adicionalmente, la selección de fibras depende de la caracterización física y mecánica inherente. Esta caracterización generalmente es como se presenta a continuación:

Tabla 3. Propiedades generales de las fibras de cabuya

Fibra	Producción (10 ³ Toneladas)	Densidad (g/cm ³)	Absorción de Humedad (%)	Resistencia a la Tracción (MPa)	Elongación de Rotura (%)	Módulo de Young (GPa)
Sisal	380	1.33-1.5	11-14	80-855	2-14	9-22

Fuente: (Awais et al., 2021)

Elaborado por: Morales, K

1.4.5.4 Tratamiento Químico

Suarez y Rodríguez (2002) en su investigación “Uso de fibras naturales de lechuguilla como refuerzo” resaltan que, debido a la naturaleza de las fibras, consecuentemente se da su desgaste a lo largo del tiempo por ello, exploraron métodos de tratamiento para la fibra con el fin de mejorar su resistencia y reducir el desgaste causado por el ambiente alcalino del concreto

Con el objetivo de evitar esta desventaja, la utilización de diversos compuestos es válida para limpiar y mejorar la superficie de las fibras. El compuesto con evidencias de mejores resultados es el hidróxido de sodio (Agopyan, 1988).

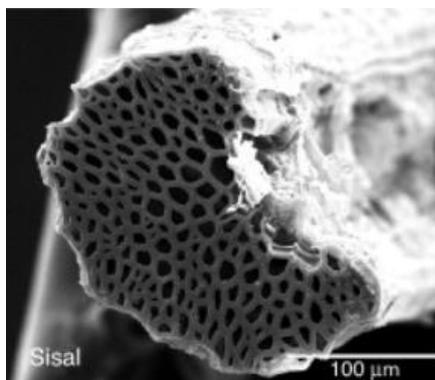


Figura 4. Composición de Fibra

Fuente: (Alves et al., 2013)

En el libro “Handbook of Fiber Chemistry” Lewin (2006) menciona que el hidróxido de sodio NaOH figura un hinchamiento en las fibras en una concentración del 5% al 10% a temperatura ambiente, adquiere tonalidades amarillas que al ser lavadas cambian a su color original y evidencian una textura suave al contacto con el agua, ondulada al momento de secado. Es importante destacar que la cabuya tratada con NaOH experimenta una disminución del 40% en su resistencia. Porcentajes más altos de NaOH entre 8% y 30% provoca la fibrilación de la fibra (El-Naggar et al., 1992).

Prasad et al. (1974) expresan que al sumergir las fibras en NaOH al 5%, a una temperatura de $28 \pm 1^\circ\text{C}$ durante 72 a 76 horas, hay un incremento del 15% en la tenacidad de las fibras. Sin embargo, prolongar el tiempo de remojo más allá de 76 horas resultó en una disminución gradual de la tenacidad.

2. METODOLOGÍA

2.1 Adquisición Materiales

Se adquirieron en un lote cercano al sector de Pifo. A continuación, se muestran figuras de cada material:



Figura 5. Agregado Grueso

Fuente: Morales, K.



Figura 6. Agregado Fino

Fuente: Morales, K.

2.2 Agregado Grueso

2.2.1 Granulometría

Conforme a la Norma Técnica Ecuatoriana INEN 696 se sugiere un procedimiento específico que garantiza la precisión y la consistencia en los resultados. A continuación, se da una descripción detallada del proceso:

- Pesar la muestra hasta alcanzar el peso mínimo establecido en la ASTM C136.

Tabla 4. Tamaño mínimo para el agregado grueso

Tamaño máximo nominal. Aberturas Cuadradas mm (pulg)	Tamaño de la muestra del ensayo mínimo (kg)
9.5 (3/8)	1
12.5 (1/2)	4
19 (3/4)	5
25 (1)	10
37.5 (1 ½)	15
50 (2)	20
63 (2 ½)	35
75 (3)	60
90 (3 ½)	100
100 (4)	150
125 (5)	300

Fuente: ASTM C136

- Poner en un horno a $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ durante 24 horas y pesar de nuevo.
- Escoger el conveniente tamaño de muestra y posteriormente seguir la NTE INEN 872 para la selección de los tamices y disponer en orden descendente.
- Posicionar en el tamiz superior a la muestra, tapar y colocar la serie de tamices en la tamizadora durante 3 a 5 minutos.
- Determinar el peso retenido en cada tamiz.



Figura 7. Serie de tamices utilizados

Fuente: Morales, K.

Para calcular el módulo de finura, se da seguimiento al método establecido por la ASTM C136, para ello utilizamos la siguiente expresión:

$$MF = \frac{\sum \% \text{ Retenidos Acumulados en los tamices}}{100}$$

Ecuación 1. Módulo de Finura

Fuente: ASTM C136

Si no se supera el 0.3% de pérdida con respecto a la muestra inicial, el cálculo adquiere validez. Este enfoque riguroso respalda la integridad de los datos y su utilidad en la evaluación de los áridos, tanto finos como gruesos.

2.2.2 Densidad Relativa y Absorción

Entender la absorción y la densidad relativa en condiciones de superficie saturada y seca (S.S.S) resulta esencial para la correcta dosificación de mezclas. Es fundamental conocer el peso de los agregados de forma saturada y superficialmente secos, para determinar si se adiciona agua cuando los agregados estén más secos que dicha condición, o por el contrario si están más húmedos reducir la cantidad (Mather y Ozyldirim, 2002).

La constitución del ensayo sigue el protocolo de la NTE INEN 857 y comprende los siguientes pasos:

- Tomar una muestra relacionada al tamaño máximo nominal y dividir hasta alcanzar el peso mínimo indicado por la norma antes especificada.
- Realizar el lavado continuo de la muestra hasta conseguir transparencia en el agua, luego sumergir en agua para dejar reposar durante 24 horas y lograr la saturación.
- Sacar la muestra del agua y efectuar un secado superficial para alcanzar el estado S.S.S., luego volver a pesar la muestra para determinar su masa aparente en agua a una temperatura de $23^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$.
- Colocar en el horno a $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ durante 24 horas, luego enfriar durante 1 a 3 horas hasta poder manejar la muestra y pesar.



Figura 8. Densidad Relativa

Fuente: Morales, K.

Para la determinación de los parámetros mencionados se utilizan las siguientes ecuaciones:

$$Densidad = \frac{997.5 * A}{(B - C)} \left(\frac{kg}{m^3} \right)$$

Ecuación 2. Densidad del Agregado Grueso

Fuente: NTE INEN 857

$$Densidad S.S.S = \frac{997.5 * B}{(B - C)} \left(\frac{kg}{m^3} \right)$$

Ecuación 3. Densidad SSS del Agregado Grueso

Fuente: NTE INEN 857

$$Densidad Aparente = \frac{997.5 * A}{(A - C)} \left(\frac{kg}{m^3} \right)$$

Ecuación 4. Densidad Aparente del Agregado Grueso

Fuente: NTE INEN 857

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

Ecuación 5. Absorción del Agregado Grueso

Fuente: NTE INEN 857

Siendo:

- A: Peso de la muestra seca al horno (g)
- B: Peso de la muestra en estado S.S.S (g)
- C: Peso de la muestra aparente en agua (g)

2.2.3 Densidad Aparente Suelta y Compactada

Ensayo en donde se define el peso volumétrico del agregado en condiciones tanto sueltas como compactas, lo cual es esencial para convertir volúmenes en masas.

El procedimiento sigue las pautas establecidas por NTE INEN 858. A continuación, se detalla el procedimiento:

- Calcular el volumen y el peso del del molde.
- Para el tamaño de muestra tomar un porcentaje de 125% a 200% con respecto a la cantidad que llenaría el molde, situar en un horno a $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ por 24 horas y luego permitir que se enfríe al retirarla del horno.

Para la densidad suelta:

- Introducir el agregado en el contenedor mediante paladas, para prevenir la compactación en este paso se procura que el material no caiga desde una altura mayor a 50 mm.
- Nivelar el recipiente y pesar.

Para la densidad compactada:

- Poner el material el molde en tres capas de espesor aproximadamente igual, y en cada una, compactar uniformemente 25 mediante varillado.
- Nivelar el recipiente y pesar.



Figura 9. Densidad Aparente Suelta y Compactada

Fuente: Morales, K.

La ecuación para determinar la densidad es:

$$\text{Masa Unitaria} = \frac{G - T}{V} \left(\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right)$$

Ecuación 6. Masa Unitaria

Fuente: NTE INEN 858

Donde:

- G: Masa del agregado más molde (kg)
- T: Masa del molde vacío (kg)
- V: Volumen molde (m³)

2.2.4 Abrasión

Es un ensayo que aborda el tema de degradación del árido grueso ocasionado por el desgaste e impacto.

Se sigue el proceso determinado por la NTE INEN 860, como se menciona a continuación:

- Seleccionar la gradación en base a lo establecido en la norma, y tamizar para lograr las masas establecidas.

Tabla 5. Tamaño de muestra

Tamaño de las aberturas de tamiz (mm) (Aberturas Cuadradas)		Masa por tamaños indicados (g)			
		Gradación			
Pasante de	Retenido en	A	B	C	D
37.5	25	1250±25	-	-	-
25	19	1250±25	-	-	-
19	12.5	1250±10	2500±10	-	-
12.5	9.5	1250±10	2500±10	-	-
9.5	6.3	-	-	2500±10	-
6.4	4.75	-	-	2500±10	-
4.75	2.36	-	-	-	5000±10
	Total	5000±10	5000±10	5000±10	5000±10

Fuente: NTE INEN 860

- Escoger la cantidad de esfera y masa de la carga en base a lo siguiente:

Tabla 6. Numero de Esferas para ensayo de abrasión

Gradación	Número Esferas	Masa de la Carga
A	12	5000±10
B	11	4584±25
C	8	3330±20
D	6	2500±15

Fuente: NTE INEN 860

- Colocar en la máquina de los Ángeles y hacerla girar durante 500 revoluciones. En el momento de completar 100, pesar la cantidad que se retiene en el tamiz N°12 y obtener el coeficiente de uniformidad.
- Completar el número prescrito de revoluciones y pesar nuevamente.

La ecuación para determinar el valor de degradación es:

$$D = \frac{B - C}{B} \times 100$$

Ecuación 7. Valor de Degradación

Fuente: NTE INEN 860

Siendo:

D = valor degradación (%)

B = masa inicial muestra (g)

C = masa final retenida en el tamiz 1.7 mm (g)

2.2.5 Pasa Tamiz 200

Este ensayo pretende determinar qué cantidad de agregado pasa por el tamiz N°200. En la NTE INEN 697, se detalla dicho indicador:

- Tomar una muestra del agregado según lo establece la norma, cuya tabla se muestra a continuación:

Tabla 7. Masa Mínima por Tamaño Máximo Nominal

Tamaño Máximo Nominal	Masa Mínima (g)
4.75 mm (N°4) o menor	300
Mayor que 4.75 mm (N°4) hasta 9.5 mm	1000
Mayor que 9.5 mm hasta 19 mm	2500
Mayor que 19 mm	5000

Fuente: NTE INEN 697

- Secar la muestra en el horno a 110°C ± 5°C de temperatura, para luego pesar.

- Colocar en un recipiente y cubrir completamente con agua, agitar para causar la separación de partículas, decantar y colocar sobre la serie de tamices.
- Realizar continuamente el anterior proceso hasta lograr la transparencia del agua.
- Transferir el material atrapado en el conjunto de tamices a un recipiente. Secar en el horno y calcular su masa.



Figura 10. Pasa Tamiz 200

Fuente: Morales, K.

Para el cálculo, se usa la siguiente expresión:

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

Ecuación 8. Porcentaje que pasa Tamiz 200

Fuente: NTE INEN 697

Siendo:

A: Porcentaje material más fino que pasa tamiz 200 (%)

B: Masa seca original (g)

C: Masa seca luego de lavado (g)

2.2.6 Resumen de resultados para Agregado Grueso

Tabla 8. Resultados de Ensayos de Agregado Grueso

Propiedad	Resultado
Módulo de Finura	5.6
Densidad Relativa (g/cm ³)	2.45
Densidad Relativa SSS (g/cm ³)	2.56
Absorción de Agua (%)	4.36
D.A. Suelta (g/cm ³)	1.38
D.A. Compactada (g/cm ³)	1.45

Abrasión (%)	43
Tamaño Máximo Nominal (mm)	9.5

Elaborado por: Morales, K

2.3 Agregado Fino

Debido a que, algunos ensayos mantienen procedimientos similares a los del agregado grueso ya no se detallarán para describir los ensayos del agregado fino. Estos ensayos son los siguientes:

- Granulometría
- Densidad Relativa y Absorción
- Pasa Tamiz 200

2.3.1 Densidad Relativa y Absorción

Según lo establecido en la NTE INEN 856, para la realización de este ensayo se debe seguir el siguiente proceso:

- Tomar una muestra según la NTE INEN 695, mezclar íntegramente hasta obtener 1 kg de muestra y secar en el horno.
- Dejar enfriar un tiempo prudente, cubrir con agua y dejar reposar la muestra durante 24 ± 4 horas.
- Determinar la humedad superficial mediante el uso del cono según lo establece la norma, hasta comprobar la condición saturada superficialmente seca.
- Introducir $500 \text{ g} \pm 10 \text{ g}$ de agregado fino SSS en el picnómetro, llenar hasta el 90% de la capacidad con agua para luego agitar.
- Colocar agua hasta la marca calibrada procurando eliminar las burbujas de aire y calcular la masa total.
- Extraer el árido del picnómetro, luego colocar en el horno y pesar.
- Calcular la masa del picnómetro lleno con agua hasta su límite de calibración.

Se utilizan las siguientes expresiones para el cálculo:

$$Densidad = \frac{997.5 * A}{(B + S - C)} \left(\frac{kg}{m^3} \right)$$

Ecuación 9. Densidad del Agregado Fino

Fuente: NTE INEN 856

$$Densidad \text{ S.S.S} = \frac{997.5 * S}{(B + S - C)} \left(\frac{kg}{m^3} \right)$$

Ecuación 10. Densidad S.S.S del Agregado Fino

Fuente: NTE INEN 856

$$Densidad\ Aparente = \frac{997.5 * A}{(B + A - C)} \left(\frac{kg}{m^3} \right)$$

Ecuación 11. Densidad Aparente del Agregado Fino

Fuente: NTE INEN 856

$$Absorción\ (\%) = \frac{(S - A)}{A} * 100$$

Ecuación 12. Absorción del Agregado Fino

Fuente: NTE INEN 856

Siendo:

A: Masa muestra seca al horno (g)

B: Masa picnómetro lleno con agua (g)

C: Masa picnómetro lleno con muestra y agua (g)

S: Masa de muestra saturada superficialmente seca (g)

2.3.2 Contenido Orgánico

El objetivo del ensayo es establecer la cantidad de impureza en el árido. Se rige a lo establecido en NTE INEN 855, con el siguiente proceso:

- Muestrear el árido según NTE INEN 695
- Tomar de esa muestra una cantidad aproximada de 450 g y verter en un recipiente de vidrio acorde a 130 cm³ de volumen.
- Utilizar una solución de NaOH para añadirlo a la muestra anterior y conformar un volumen aproximado de 200cm³.
- Agitar manualmente y dejar reposar.
- Comparar con la escala de contenido orgánico.



Figura 11. Escala de Garnier para contenido orgánico

Fuente: Morales, K.

2.3.3 Resumen de resultados para Agregado Fino

Tabla 9. Resultados de Ensayos de Agregado Fino

Propiedad	Resultado
Módulo de Finura	2.9
Densidad Relativa (g/cm ³)	2.25
Densidad Relativa SSS (g/cm ³)	2.46
Absorción de Agua (%)	9.69
D.A. Suelta (g/cm ³)	1.52
D.A. Compactada (g/cm ³)	1.68
Tamaño Máximo Nominal (mm)	4.75
Contenido Orgánico (Escala)	1

Elaborado por: Morales, K

2.4 Cemento

2.4.1 Densidad Real

Este ensayo evalúa la densidad real del componente, basado en la NTE INEN 156, como se explica a continuación:

- Llenar el frasco Le Chatelier con el reactivo y al tener una marca limitada entre 0 a 1 cm³, sumergirlo en agua a 23±2°C de temperatura y tomar la primera lectura de volumen y peso.
- Pesarse previamente 64 g del cemento para colocarlo en el frasco, de tal manera que no se genere adherencia en las paredes.
- Eliminar cuidadosamente las burbujas de aire, sumergir nuevamente y tomar las respectivas lecturas de volumen y peso.

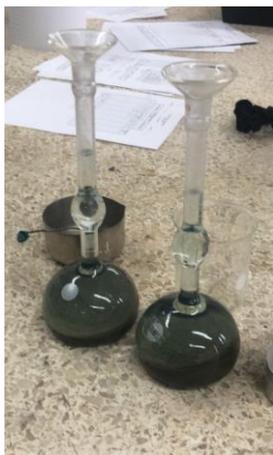


Figura 12. Densidad Real del Cemento

Fuente: Morales, K.

Para el cálculo se obedece a la siguiente expresión:

$$Densidad\ Cemento = \frac{Masa\ del\ cemento}{Volumen\ desplazado} \left(\frac{g}{cm^3} \right)$$

Ecuación 13. Densidad del Cemento

Fuente: NTE INEN 156

2.4.2 Resumen de resultados para Cemento

Tabla 10. Resultados de Ensayos del Cemento

Propiedad	Resultado
Densidad 1 (g/cm ³)	2.93
Densidad 2 (g/cm ³)	2.97
Densidad Promedio (g/cm ³)	2.95

Elaborado por: Morales, K

2.5 Fibras De Cabuya

2.5.1 Preparación de Fibras

Para los diferentes ensayos se utilizaron tres grupos de fibras, clasificados por sus diferentes tamaños:

Grupo 1: Este grupo de fibras se basa en lo establecido en ACI 544. 1R-96 (1997), donde la longitud recomendada para fibras es de 4 cm. Por ello, el dimensionamiento de fibras

que van a ser añadidas a la mezcla de hormigón va a ser de 4 cm, utilizando como instrumental una guillotina.



Figura 13. Fibra Cortada

Fuente: Morales, K.

Grupo 2: Este grupo de fibras se corta con longitud de 21 cm. Este grupo se destinará a ensayos de propiedades mecánicas

Grupo 3: Fibra sin cortar para ensayos de contenido de humedad.

Tanto el grupo 2 y 3, se enviarán al Centro Textil para su evaluación.

2.5.2 Tratamiento de Fibra

Para el tratamiento de la fibra, se definió utilizar hidróxido de sodio NaOH, en una concentración del 6%. Para ello se utilizaron moldes con suficiente capacidad de resistir el compuesto y capaz de sumergir la cantidad total de fibras. La siguiente expresión resume lo anteriormente expuesto:

$$\frac{6g \text{ de NaOH}}{100g \text{ solución}}$$

Ecuación 14. Concentración de Hidróxido de Sodio

Fuente: (Lewin, 2006)

- Colocar cuidadosamente 30g de NaOH en un recipiente de 500g con agua destilada y poner el vaso sobre un agitador magnético a una velocidad considerable hasta lograr disolver el compuesto.
- Repetir el procedimiento hasta completar la cantidad suficiente de litros que cubran la mezcla, dejar reposar en un lugar fresco y cubierto.

- Luego de 24 horas, lavar cuidadosa y paulatinamente la fibra tratada hasta conseguir un ph neutro en las fibras. Usar tiras indicadoras de ph para garantizar lo anterior.
- Secar las fibras en el horno durante 24 horas a 110°C.

2.5.3 Ensayo Propiedades Mecánicas

Del grupo 2 de fibras, se va a subclasificar un grupo sin tratamiento y otro con tratamiento, previo al envío al centro Textil se realizó el siguiente proceso:

- Cortar fibras con y sin tratamiento de 21 cm, y escoger aquellas que tengan un grosor adecuado para el ensayo, luego separar 50 submuestras de cada subgrupo.
- Con la ayuda de una balanza de precisión de 0.1 mg, pesar cada submuestra, almacenar y etiquetar.

Al enviar las muestras al Centro Textil, según lo establece la norma ASTM D2256 se analizarán las propiedades de: elongación, densidad lineal, tenacidad y fuerza de rotura.

Adicionalmente, para el ensayo prescrito para el grupo 3, previo al envío de muestras, se tomará una muestra representativa de aproximadamente 5 g para cada subgrupo de fibras.

2.6 Dosificación

Siguiendo el procedimiento que plantea el ACI, se concluyó en la siguiente dosificación patrón:

Tabla 11. Dosificación Planteada en base al ACI

Componente	Agua	Agregado Grueso	Agregado Fino	Cemento
Peso (kg)	301.83	641.7	889.29	548.78
Relación	0.55	1.17	1.62	1

Elaborado por: Morales, K.

Para la adición de fibras a la dosificación, se tomará una proporción de 0.75% en peso del agregado grueso.

2.6.1 Cantidad de Probetas

Para la cantidad de probetas, se siguió lo especificado en el ACI 318-08, donde se menciona que para probetas cilíndricas de 100 x 200 mm, deben fabricarse al menos 2 cilindros. De la misma manera, para la elaboración de vigas, debe cumplirse con ASTM C31 con respecto al detalle de longitud y profundidad. Como las vigas fabricadas son de: 100 x 100 x 400 mm satisfacen el requerimiento de la norma.

El número de probetas elaboradas se presenta a continuación:

Tabla 12. Cantidad Probetas

Dosificación	Tipo	Dimensiones (mm)	Probetas por edad de ensayo			
			7 días	14 días	28 días	Total
Patrón	Cilindros	100x200	2	3	3	8
Con Fibras	Cilindros	100x200	3	-	3	6
Total, Cilindros						14
Patrón	Vigas	100x100x400	2	-	2	4
Con Fibras	Vigas	100x100x400	3	-	3	6
Total, Viguetas						10

Elaborado por: Morales, K.

2.6.2 Preparación de Mezcla

Para la mezcla se tomó en cuenta las siguientes cantidades para cilindros (C) y vigas (V) respectivamente:

Tabla 13. Cantidades de Componentes

Tipo	Cantidad + Desperdicio	Cemento (kg)	Ag. Fino (kg)	Ag. Grueso (kg)	Agua (kg)	Fibra (kg)
		548.780	889.290	641.700	301.830	4.813
Dosificación con Adición de Fibras	6.2	5.345	8.661	6.249	2.940	0.047
	6.2	13.610	22.054	15.914	7.485	0.119
	Total	18.954	30.715	22.164	10.425	0.166
Dosificación Patrón	8.2	7.069	11.455	8.265	3.888	-
	4.2	9.220	14.940	10.781	5.071	-
	Total	16.288	26.395	19.046	8.958	-
Total. Cantidad		35.242	57.110	41.210	19.383	0.166

Elaborado por: Morales, K.



Figura 14. Preparación de Mezcla

Fuente: Morales, K.

2.6.3 Preparación y Curado de Cilindros

El proceso se basa en lo expuesto en ASTM C31. Como se detalla a continuación:

- Aplicar desmoldante sobre las paredes al interior de los cilindros y vaciar la mezcla preparada.
- Colocar la mezcla en dos proporciones, con la primera capa cubrir aproximadamente la mitad de la profundidad del espécimen, vibrar y al menos 10 veces con una maza los lados exteriores del molde.
- Colar la segunda capa, y repetir el paso anterior.
- Nivelar la superficie del molde, etiquetar y colocar en un lugar adecuado durante 24 horas, lo que pertenece a la fase de curado inicial.
- Desencofrar los cilindros y sumergirlos en un tanque de almacenamiento de agua, lo que corresponde a la fase de curado final.
- Esperar el tiempo correspondiente según las edades de ensayos, secar superficialmente los cilindros y ensayar,



Figura 15. Preparación y Curado de Cilindros

Fuente: Morales, K.

2.6.4 Preparación y Curado de Vigas

El proceso se basa en lo expuesto en ASTM C31. Como se detalla a continuación:

- Colocar aceite en los moldes de vigas, colocar un material blando y modelable como la plastilina en los bordes para evitar desbordamientos al vibrar la mezcla.
- Colar la mezcla en las vigas en 3 capas y vibrar luego de cada colocación hasta completar la profundidad del molde.
- Nivelar con ayuda de una llana de mano la superficie hasta lograr un acabado plano, identificar y almacenar para la fase de curado inicial durante 24 horas.

- Desencofrar los moldes, y colocar en un tanque de almacenamiento, tal que, cumpla con la fase de curado final.
- Esperar la cantidad de días necesarios según las edades de ensayos especificadas, retirar del tanque y ensayar.



Figura 16. Preparación y Curado de Vigas

Fuente: Morales, K.

2.6.5 Ensayo a Compresión en Cilindros

Seguimos la norma ASTM C39 para el ensayo.

- Extraer del agua según la edad establecida (7 y 28 días), colocar los moldes sobre una superficie rígida y secar superficialmente con una toalla.
- Registrar 3 datos de altura del cilindro, 2 datos de diámetro y su masa.
- Revisar la presencia de imperfecciones en cada cilindro con el fin de pulir o nivelar para evitar errores en los resultados.
- Colocar cada cilindro en la máquina de ensayo, registrar la carga máxima obtenida, el tipo de falla y posibles observaciones luego de finalizar el ensayo.



Figura 17. Ensayo a Compresión

Fuente: Morales, K.

2.6.6 Ensayo de Flexión en Vigas

Este ensayo se asocia al siguiente procedimiento:

- Extraer del agua según la edad establecida (7 y 28 días), colocar las vigas sobre una superficie rígida y secar superficialmente con una toalla.
- Tomar 3 datos ancho y 3 de alto a lo largo de la viga.
- Desde los extremos de la viga tomar 5cm de cada lado de tal manera que se establezca una luz libre de 30cm. Dividir la luz libre en 3 y delimitar dichas áreas.
- Colocar en la máquina para el ensayo de flexión y ubicar las rodela en los dos puntos medios delimitados previamente.
- Ubicar la fractura en cada viga ensayada y registrar individualmente datos de carga máxima.



Figura 18. Ensayo a Flexión

Fuente: Morales, K.

3. RESULTADOS, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 Resultados

4.1.1 Propiedades mecánicas de la fibra de cabuya

Según el estudio realizado en el Centro Textil, del total de submuestras enviadas por cada subgrupo, solo se analizaron 35 submuestras de fibras tratadas (CT) y 34 submuestras sin tratamiento (ST), obteniendo lo siguiente:

Tabla 14. Propiedades mecánicas de la fibra de cabuya

Tipo		Fuerza Rotura (N)	Elongación (%)	Densidad Lineal (tex)	Tenacidad (cN/tex)
Con Tratamiento	Promedio	3.55	0.07891	19.15	0.187
	Desviación Estándar	1.6	0.03	4.68	0.07
	Contenido de Humedad (%)				6.7 ± 0.8
Sin Tratamiento	Promedio	11.5	0.06911	31.61	0.361
	Desviación Estándar	3.72	0.01	6.59	0.08
	Contenido de Humedad (%)				8.5 ± 1.3

Elaborado por: Morales, K.

De acuerdo con los resultados, se evidencia una clara reducción de las propiedades de fuerza de rotura, densidad lineal y tenacidad, por el contrario, la elongación muestra un ligero aumento de porcentaje luego de aplicar tratamiento a la fibra. Esto se resume en las siguientes figuras:

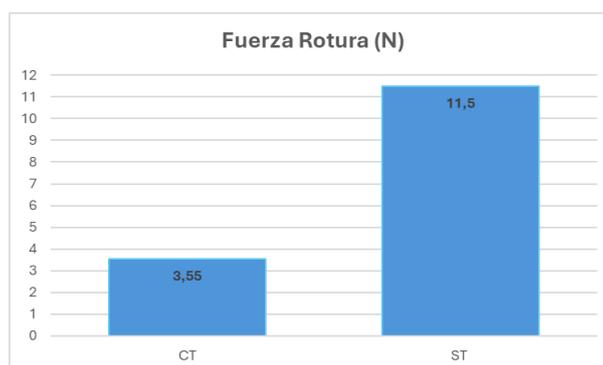


Figura 19. Fuerza de Rotura

Elaborado por: Morales, K.

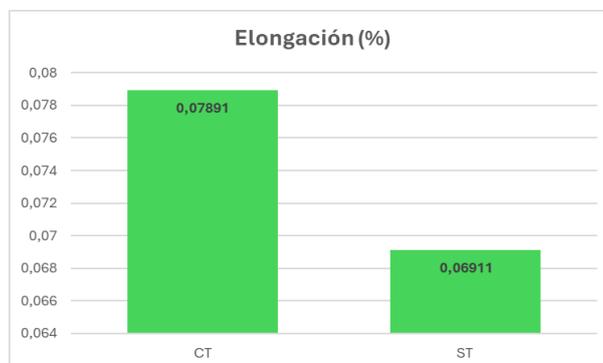


Figura 20. Elongación

Elaborado por: Morales, K.

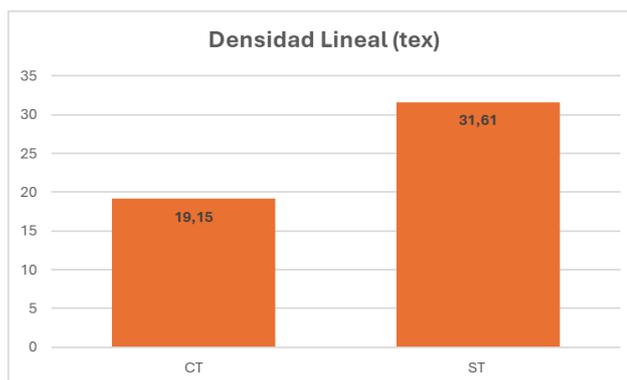


Figura 21. Densidad Lineal

Elaborado por: Morales, K.

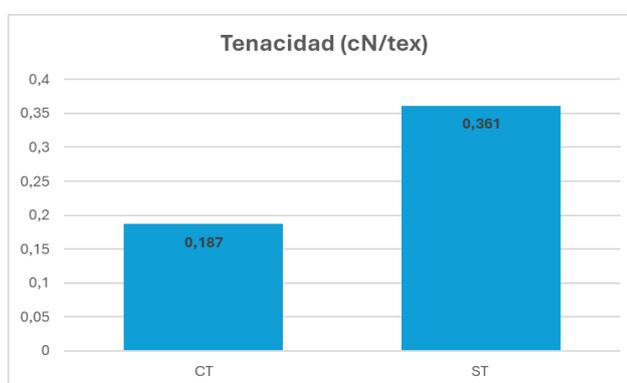


Figura 22. Tenacidad

Elaborado por: Morales, K.

4.1.2 Resistencia a la Compresión

Se evaluó para distintas edades de curado de dosificación con hormigón simple (HS) y los resultados se muestran a continuación:

Tabla 15. Resistencia a la Compresión Hormigón Simple

Identificación	Fábrica (dd/mm/año)	Rotura (dd/mm/año)	Edad (días)	Carga (kN)	Área (mm ²)	Resistencia (MPa)	Resistencia (kgf/cm ²)
HS 1-7	29/11/2023	6/12/2023	7	99.6	7972	12.5	127.47
HS 2-7	29/11/2023	6/12/2023	7	99.4	7972	12.5	127.47
HS 1-14	3/1/2024	17/1/2024	14	127.6	7933	16.1	164.17
HS 2-14	3/1/2024	17/1/2024	14	128.5	7972	16.1	164.17
HS 3-14	3/1/2024	17/1/2024	14	126.7	7972	15.9	162.14
HS 1-29	11/12/2023	9/1/2024	29	183.9	7972	23	234.54
HS 2-29	11/12/2023	9/1/2024	29	181.4	7972	22.8	232.50
HS 3-29	11/12/2023	9/1/2024	29	197	7972	24.7	251.87

Elaborado por: Morales, K.

Los valores de resistencias promedio a los días evaluados son los siguientes:

Tabla 16. Resistencias Promedio para Hormigón Simple

TIPO	Resistencia Promedio (MPa)	Resistencia Promedio (kgf/cm ²)
HS 7	12.50	127.47
HS 14	16.03	163.50
HS 29	23.50	239.63

Elaborado por: Morales, K.

Asimismo, se evaluó el ensayo en cilindros con la adición de fibras (HF) y los resultados se muestran a continuación:

Tabla 17. Resistencia a la Compresión Hormigón con Fibras

Identificación	Fábrica (dd/mm/año)	Rotura (dd/mm/año)	Edad (días)	Carga (kN)	Área (mm ²)	Resistencia (MPa)	Resistencia (kgf/cm ²)
HF 1-14	14/12/2023	21/12/2023	7	103	8012	12.9	131.54
HF 2-14	14/12/2023	21/12/2023	7	104.4	7972	13.1	133.58
HF 3-14	14/12/2023	21/12/2023	7	100.7	7933	12.7	129.50
HF 1-32	14/12/2023	15/1/2024	32	169.1	7972	21.2	216.18
HF 2-32	14/12/2023	15/1/2024	32	165.8	8012	20.7	211.08
HF 3-32	14/12/2023	15/1/2024	32	156.7	7972	19.7	200.88

Elaborado por: Morales, K.

Tabla 18. Resistencias Promedio para Hormigón con Fibras

TIPO	Resistencia Promedio (MPa)	Resistencia Promedio (kgf/cm ²)
HF 7	12.90	131.54
HF 32	20.53	209.38

Elaborado por: Morales, K.

Finalmente se muestra la evolución en número de días de curado del hormigón con y sin adición de fibras tratadas con NaOH.

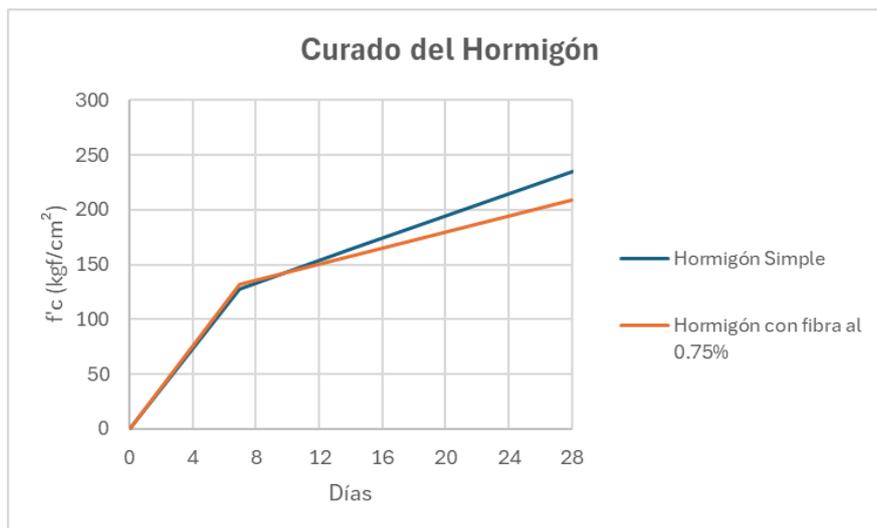


Figura 23. Desempeño del Hormigón

Elaborado por: Morales, K.

Además, se realizó una comparación de la disminución o aumento en porcentaje de la resistencia de los dos tipos HS y HF como se muestra a continuación:

Tabla 19. Comparación de Resistencias Promedio

Tipo	Hormigón Simple (HS)	Hormigón con Fibra (HF)	Porcentaje de aumento (%)	Porcentaje de disminución (%)
Días	f'c (kgf/cm²)	f'c (kgf/cm²)		
7	127.47	131.54	3.10	-
(29.32)	239.63	209.38	-	12.62

Elaborado por: Morales, K.

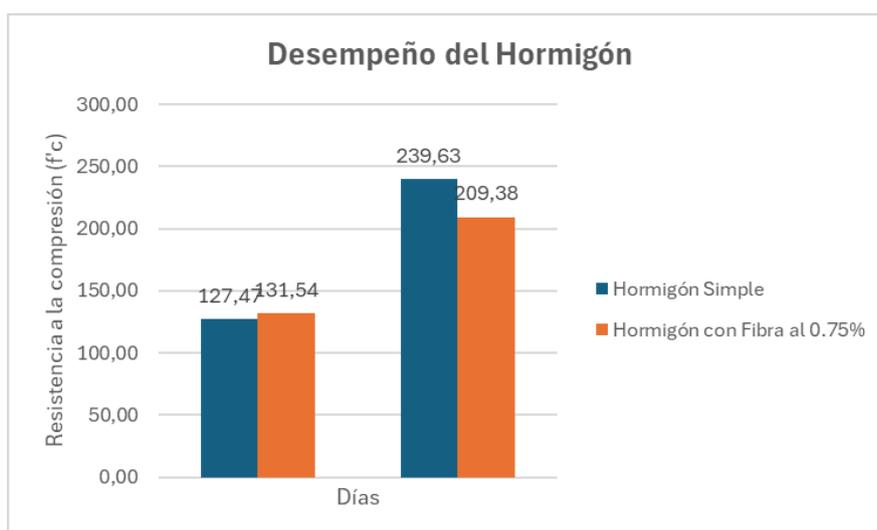


Figura 24. Comparación de Resistencias Promedio

Elaborado por: Morales, K.

4.1.3 Resistencia a la flexión

Del ensayo a flexión se obtuvieron los siguientes datos para vigas de 100x100x400 mm a los 7 y 28 días. Se presentan para el hormigón simple:

Tabla 20. Ensayo a Flexión Hormigón Simple

Identificación	Fábrica (dd/mm/año)	Rotura (dd/mm/año)	Edad (días)	Carga Máxima (kN)	Módulo de Rotura (MPa)	Módulo de Rotura (kgf/cm ²)
HS 1-7	12/12/2023	19/12/2023	7	6.935	2	20.39
HS 2-7	12/12/2023	19/12/2023	7	7.63	2.25	22.94
HS 1-28	12/12/2023	9/1/2024	28	8.32	2.4	24.47
HS 2-28	12/12/2023	9/1/2024	28	9.83	2.85	29.06

Elaborado por: Morales, K.

Los resultados para la evaluación de vigas elaboradas con hormigón con fibras (HF) se muestra a continuación:

Tabla 21. Ensayo a Flexión Hormigón con Fibra

Identificación	Fábrica (dd/mm/año)	Rotura (dd/mm/año)	Edad (días)	Carga (kN)	Resistencia (MPa)	Resistencia (kgf/cm ²)
HF 1-14	14/12/2023	21/12/2023	7	7.37	2.15	21.92
HF 2-14	14/12/2023	21/12/2023	7	7.11	2.1	21.41
HF 3-14	14/12/2023	21/12/2023	7	7.31	2.05	20.90
HF 1-28	14/12/2023	15/1/2024	32	12.802	3.8	38.75
HF 2-28	14/12/2023	15/1/2024	32	12.225	3.45	35.18
HF 3-28	14/12/2023	15/1/2024	32	12.473	3.65	37.22

Elaborado por: Morales, K.

Finalmente, se muestra la comparación de carga máxima admitida con y sin adición de fibras, el porcentaje de aumento o reducción de carga a flexión en las vigas:

Tabla 22. Comparación de Cargas Máximas Promedio

Tipo	Hormigón Simple (HS)	Hormigón con Fibra (HF)	Porcentaje de aumento (%)	Porcentaje de disminución (%)
Días	Carga Máxima (kN)	Carga Máxima (kN)		
7	7.28	7.26	-	0.26
28, 32	9.08	12.50	27.40	-

Elaborado por: Morales, K.

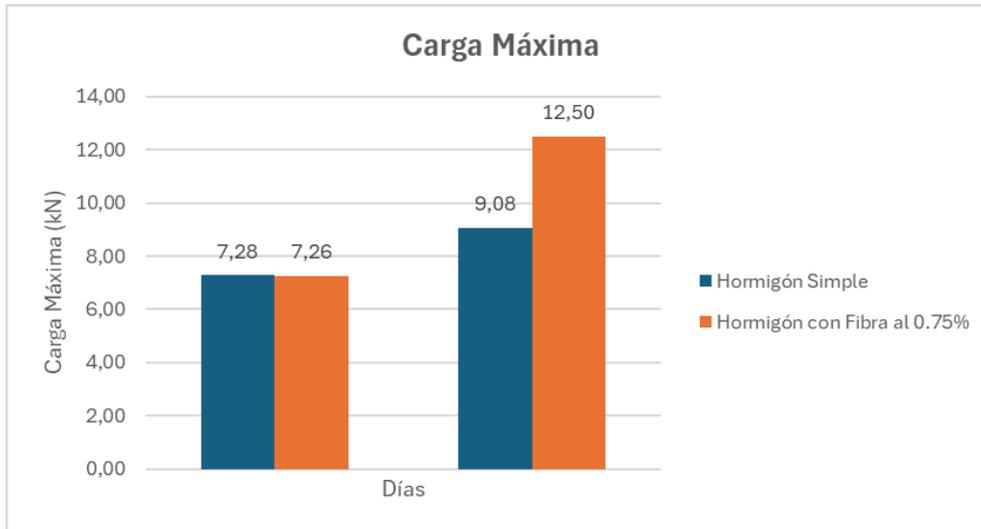


Figura 25. Comparación Cargas Máximas Promedio

Elaborado por: Morales, K.

4.1.4 Deflexión en Vigas

Juntamente con el ensayo de flexión en vigas, fue oportuno comparar el comportamiento de las vigas en base a las deflexiones presentadas. Los datos obtenidos para las vigas de hormigón simple ensayadas a los 7 días (HS-7Días) son los siguientes:

Tabla 23. Resultados de deflexión para Hormigón Simple a los 7 días

HS Viga 1 - 7 días		HS Viga 2 - 7 días	
Deflexión (mm)	Carga (kN)	Deflexión (mm)	Carga (kN)
0.04	0.1650	0.07	0.4900
0.14	0.3875	0.17	1.2575
0.24	0.7325	0.27	2.0850
0.34	1.0700	0.37	2.8425
0.44	1.3025	0.47	4.5025
0.54	1.8408	0.57	6.2500
0.64	2.5225	0.64	7.6300
0.74	3.3775		
0.84	4.2850		
0.94	5.4000		
1.04	6.5850		
1.09	6.9350		

Elaborado por: Morales, K.

Los resultados para vigas con hormigón con fibra, ensayadas a los 7 días (HF–7 Días) son los siguientes:

Tabla 24. Resultados de deflexión para Hormigón con Fibra a los 7 días

HF Viga 1 - 7 Días		HF Viga 2 - 7 Días		HF Viga 3 - 7 Días	
Deflexión (mm)	Carga (kN)	Deflexión (mm)	Carga (kN)	Deflexión (mm)	Carga (kN)
0.06	1.3200	0.06	2.2725	0.06	1.3775
0.16	2.0775	0.16	4.7650	0.16	2.6200
0.26	2.9525	0.26	7.1150	0.26	3.8675
0.36	3.8575			0.36	5.1350
0.46	4.8850			0.46	6.6400
0.56	5.9800			0.51	7.3100
0.66	7.3100				
0.67	7.3675				

Elaborado por: Morales, K.

Para las vigas con dosificación patrón ensayadas a los 29 días (HS – 29 Días), se tiene:

Tabla 25. Resultados de deflexión para Hormigón Simple a los 29 días

HS Viga 1 - 29 días		HS Viga 2 - 29 días	
Deflexión (mm)	Carga (kN)	Deflexión (mm)	Carga (kN)
0.07	0.1726	0.1	0.3525
0.17	0.2325	0.2	0.6500
0.27	0.3425	0.3	1.0575
0.37	0.5095	0.4	1.6450
0.47	0.7600	0.5	2.3800
0.57	1.0925	0.6	2.8575
0.67	1.6125	0.7	3.7125
0.77	2.1875	0.8	4.6275
0.87	2.8929	0.9	5.6475
0.97	3.4400	1.0	6.905
1.07	4.1500	1.1	8.4975
1.17	5.1175	1.2	9.8300
1.27	6.0475		
1.37	6.9608		
1.47	8.0375		
1.50	8.3200		

Elaborado por: Morales, K.

Para las vigas de hormigón con adición de fibra ensayadas a los 32 días (HF-32Días), se tiene:

Tabla 26. Resultados de deflexión para Hormigón con Fibra a los 32 días

HF Viga 1 - 32 Días		HF Viga 2 - 32 Días		HF Viga 3 - 32 Días	
Deflexión (mm)	Carga (kN)	Deflexión (mm)	Carga (kN)	Deflexión (mm)	Carga (kN)
0.08	0.2825	0.05	0.2650	0.04	0.1475
0.18	0.4250	0.15	0.6125	0.14	0.3300
0.28	0.7275	0.25	1.3450	0.24	0.5975
0.38	1.1200	0.35	2.5775	0.34	0.835
0.48	1.7700	0.45	4.3900	0.44	1.1475
0.58	2.3325	0.55	6.8525	0.54	1.5100
0.68	3.0825	0.65	9.8700	0.64	1.8650
0.78	3.965	0.73	12.225	0.74	2.3800
0.88	4.5875			0.84	3.2250
0.98	6.4825			0.94	4.2525
1.08	8.3100			1.04	5.5050
1.18	10.6425			1.14	7.0925
1.27	12.8025			1.24	8.900
				1.34	10.9775
				1.41	12.4725

Elaborado por: Morales, K.

En base a los resultados se realizó una gráfica con las curvas de carga-deformación con aquellas vigas que hayan tenido mayores resultados. Tenemos así:

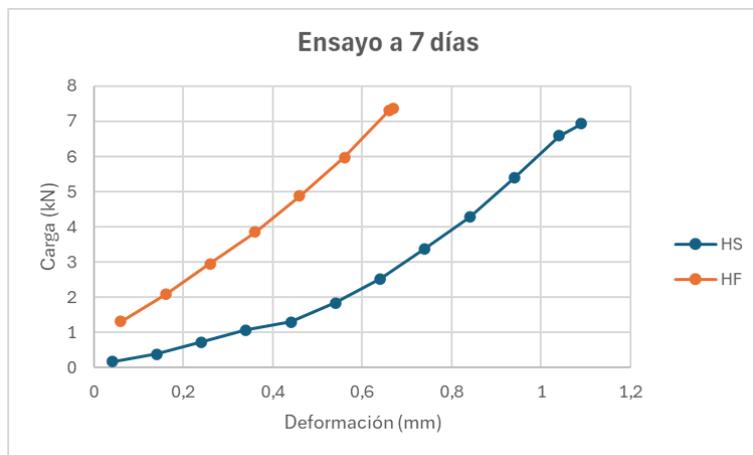


Figura 26. Curva Carga-Deformación a 7 días

Elaborado por: Morales, K.

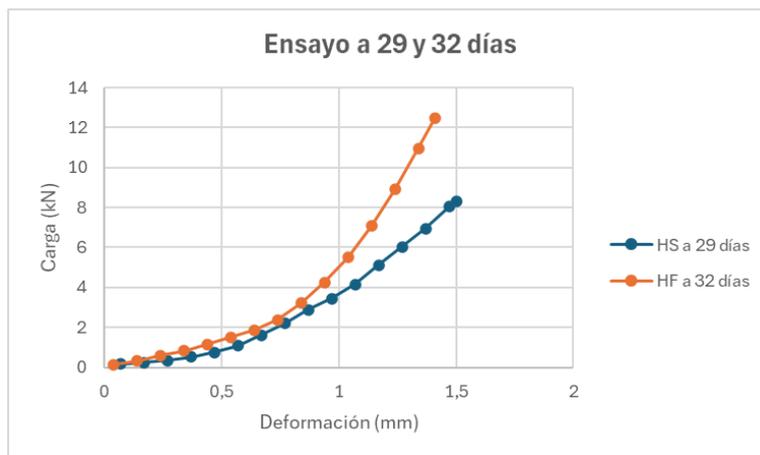


Figura 27. Curva Carga-Deformación a 29 y 32 días

Elaborado por: Morales, K.

También, se promedió las deflexiones obtenidas para comparar la reducción o aumento en porcentaje. Los resultados son:

Tabla 27. Deflexiones Promedio

Tipo	Hormigón Simple (HS)	Hormigón con Fibra (HF)	Porcentaje de aumento (%)	Porcentaje de disminución (%)
Días	Deflexiones Promedio (mm)	Deflexiones Promedio (mm)		
7	0.865	0.480	-	44.51
29,32	1.350	1.137	-	15.80

Elaborado por: Morales, K.

4.2 Conclusiones

- La evaluación sobre el nivel de agrietamiento que presentan las losetas con y sin adición de fibras tratadas a la mezcla de hormigón no pudo ser evaluada en el presente estudio, debido a que se realizó una cantidad considerable de losetas tanto con la dosificación patrón como con ligeras variaciones a la relación de agua y cemento de la misma, sin embargo, no se evidenciaron grietas por lo que no se pudo evaluar comparativamente la reducción de grietas al momento de adicionar fibras, ya que la finalidad de fabricación de las losetas fue el control de agrietamiento.
- Con la dosificación propuesta en base a las características ensayadas de los materiales se logra una resistencia a la compresión adecuada de 239.63 kgf/cm² a los 29 días, la cual resulta ser mayor que la mínima admitida. Además, como el

análisis fue a los 7, 14 y 29 días, se evaluó que del día 7 al 14 se tuvo un desarrollo del hormigón del 22.04% y que del día 14 al 29 hubo un desarrollo del 31.77%, resultados que nos proporcionan un indicio acerca del comportamiento de la dosificación planteada.

- En la evaluación de la fibra natural de cabuya, se comprobó que, al ensayar fibras sin tratar y compararlas con los ensayos de fibras tratadas con NaOH, hay una reducción en las propiedades posterior al tratamiento. Así, la fuerza de rotura pasa de 11.5N a 3.55N, la densidad lineal pasa de 31.61tex a 19.15tex y la tenacidad pasa de 0.361 cN/tex a 0.187 cN/tex, en cambio, la elongación es la única de las propiedades que tuvo un aumento luego de tratarla pasando de 0.069% a 0.079%. Es decir, posterior al tratamiento químico la mayoría de las propiedades resultaron afectadas, excepto la de elongación la cual influye directamente en los ensayos de flexión.
- Los cilindros elaborados con hormigón simple comparados con aquellos que mantienen adición de fibras de cabuya tratadas evidencian a los 7 días resistencias promedio a la compresión de 127.47 kgf/cm² y 131.54 kgf/cm² respectivamente, sin embargo, con el paso de los días de curado hasta llegar a la evaluación a partir de los 28 días notificaron evidente diferencia en la propiedad registrando valores de 239.63 kgf/cm² (29 días) y 196.33 kgf/cm² (32 días) respectivamente. Esto resume que, al adicionar fibras a la dosificación del hormigón, se reducirá la resistencia a medida que avanza el tiempo de curado.
- Las cargas máximas de los ensayos de flexión en vigas de hormigón simple y las que mantenían adición de fibras muestran que a los 7 días se redujo la carga pasando de 7.28 kN a 7.26 kN, al valorar los resultados de este ensayo a partir de los 28 días hay un aumento considerable pasando de 9.08 kN a 11.66 kN. Entonces, posterior al aumento de fibras tratadas en la dosificación las cargas máximas serán mayores.
- Existe una reducción referencial de resistencia a flexión con respecto al tiempo y al incremento de carga, mostrando una relación inversamente proporcional. Al comparar los resultados de vigas con hormigón simple y con adición de fibras, se obtuvo a los 7 días deflexiones promedio de 0.865 mm y 0.480 mm respectivamente, con una reducción del 44.51% y a partir de los 28 días deflexiones promedio de 1.350 mm (29 días) y 1.137 mm (32 días) respectivamente, con una reducción de 15.80%. Es decir, que las fibras de cabuya trabajan de mejor manera

en este ensayo pues se reducirán las deflexiones y se admitirá mayores cargas, sin embargo, los porcentajes de deflexión van bajando a medida que avanza el tiempo de curado.

4.3 Recomendaciones

- Enfatizar en la adquisición de materiales y su elección, ya que, esto representa el punto de partida del trabajo de investigación. Procurar realizar todos los ensayos pertinentes para evaluar sus propiedades previo al cálculo de cantidades para la dosificación.
- Considerar tratamientos químicos resulta imprescindible para lograr los resultados esperados en este tipo de análisis, sin embargo, se debe tener cuidado al momento de escoger el tipo de tratamiento y el porcentaje de concentración a aplicar. Especialmente con fibras como la cabuya, donde concentraciones altas de NaOH, pueden ser nocivas, logrando afectar o degradar sus propiedades.
- Posterior al tratamiento de las fibras, es necesario limpiar profundamente las fibras. Este proceso puede ser tardío debido a que las fibras deben tener ph neutro para ingresarlas a la mezcla, por el contrario, si no se lavarían adecuadamente los componentes del tratamiento podrían afectar los resultados.
- Para obtención de mejores resultados al realizar la mezcla de hormigón con adición de fibra es importante deshebrar las fibras, debido a que, por su naturaleza estas van a estar enrolladas o mezcladas. Con ello, se garantiza mejor distribución de este componente en la dosificación final.
- La fibra tratada de cabuya finalmente es un gran recurso si se pretende reducir las deflexiones a lo largo del tiempo. Por otro lado, si el propósito específico es de aumento de resistencia a medida que avanza el tiempo, las fibras no resultan ser una opción adecuada para implementar en la dosificación del hormigón

4. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] ACI 211.1-91. (Reapproved 2000). Standard Practice for Selecting Proportions for Normal, Heavyweight, and Mass Concrete. American Concrete Institute.
- [2] ACI 318-08. (2008). Building Code Requirements for Structural Concrete and Commentary. American Concrete Institute.
- [3] ACI 544.1R-96 (1997). State-of-the-art report on fiber reinforced concrete. American Concrete Institute.
- [4] Agopyan, V. (1988). Vegetable fibre reinforced building materials: developments in Brazil and other Latin-American countries. In Natural Fibre Reinforced Cement and Concrete. Glasgow: Blackie.
- [5] Alves, M., Castro, T., Martins, O., Andrade, F., & Toledo. R. (2013). The effect of fiber morphology on the tensile strength of natural fibers. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2238785413000306>
- [6] ASTM C 31. (2012). Práctica Normalizada para preparación y curado de especímenes de ensayo de concreto en la obra. West Conshohocken: American Society for Testing and Materials.
- [7] ASTM C136/C136M. (2019). Método de prueba estándar para análisis granulométrico de agregados finos y gruesos. West Conshohocken: American Society for Testing and Materials.
- [8] ASTM C33-07. (2007). Especificación Normalizada para Agregados para Concreto. West Conshohocken: American Society for Testing and Materials.
- [9] ASTM C39/C39M, (2021). Método de prueba estándar para determinar la resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos de hormigón. West Conshohocken: American Society for Testing and Materials.
- [10] Awais, H., Nawab, Y., Amjad, A., Anjang, A., Akil, H., Shukur, M., & Abidin, S. (2021). Environmental benign natural fibre reinforced thermoplastic composites: A review. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2666682020300827>

- [11] Bonells, J. (2019). Agave Sisalana y sus curiosidades. <https://jardinessinfronteras.com/2019/01/05/agave-sisalana-y-sus-curiosidades/>
- [12] Castoldi, R., Silva, L. (2019). Estudio comparativo sobre el comportamiento mecánico y durabilidad de hormigones reforzados con fibras de polipropileno y sisal. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.03.282>
- [13] De Oteiza, I. (1992). Estudio del comportamiento de la escayola reforzada con fibras de sisal para componentes en viviendas de bajo coste [Tesis Doctoral]. Departamento de Construcción y Tecnología Arquitectónicas, Escuela Técnica Superior de Arquitectura, Madrid.
- [14] El-Naggar, A., El-Hosamy, M., Zahran, A., & Zohdy, M. (1992). American Dyestuff Reporter.
- [15] Gram, H. (1983). Durability of Natural Fibres in Concrete. Swedish Cement and Concrete Research Institutem Estocolmo.
- [16] Joseph, K., Tolêdo Filho, R. D., James, B., Thomas, S., & Carvalho, L. H. de. (1999). A REVIEW ON SISAL FIBER REINFORCED POLYMER COMPOSITES. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, 3(3). <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v3n3p367-379>
- [17] Juárez, C. (2002). Concretos base cemento Portland reforzados con fibras naturales (Agave Lechuguilla), como materiales para construcción en México [Tesis Doctoral]. Universidad Autónoma de Nueva León, México. <http://eprints.uanl.mx/5833/1/1020150648.PDF>
- [18] Juárez, C., Rodríguez, P., Rivera, R., & Roth, V. (2004). Uso de fibras naturales de lechuguilla como refuerzo en concreto Ma. de los Ángeles Rechy de. Ingenierías, 7(22).
- [19] Khan, A. Q., Pimanmas, A., & Chindapasirt, P. (2023). Flexural strengthening of RC beams using sisal fibre reinforced polymer (SFRP) composite with anchorage systems. Results in Engineering, 18. <https://doi.org/10.1016/j.rineng.2023.101116>
- [20] Kumar, P., & Roy, R. (2018). Study and experimental investigation of flow and flexural properties of natural fiber reinforced self compacting concrete. Procedia Computer Science, 125. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2017.12.077>

- [21] Lewin, M. (2006). Handbook of Fiber Chemistry. 3ra Edición. Nueva York. Taylor & Francis Group, LLC. [http://library.navoiy-uni.uz/files/lewin%20m.%20\(ed.\)%20-%20handbook%20of%20fiber%20chemistry%20\(3d%20edinion\)\(2007\)\(1044s\).pdf](http://library.navoiy-uni.uz/files/lewin%20m.%20(ed.)%20-%20handbook%20of%20fiber%20chemistry%20(3d%20edinion)(2007)(1044s).pdf)
- [22] Llerena, A. (2014). Estudio de compuestos cementíceos reforzados con fibras vegetales [Tesis de maestría]. Universitat Politècnica de Catalunya, Barcelona. <https://core.ac.uk/download/pdf/41816044.pdf>
- [23] Mather, B. Ozyldirim, C (2002). Cartilla del Concreto. México, D.F. a Cámara Nacional de la Industria Editorial.
- [24] Montoya, J. (2009). Hormigón Armado. 15º Edición. Barcelona. Parangona Realització Editorial, SL
- [25] Nawy, E. (2008). Concrete construction engineering handbook, second edition. In Concrete Construction Engineering Handbook, Second Edition.
- [26] Neville, A. (2013). Tecnología del Concreto. Cuarta Edición. México, D. F. Cámara Nacional de la Industria Editorial. <https://www.udocz.com/apuntes/66641/tecnologia-del-concreto-neville>
- [27] Nilson, A. (1999). Diseño de Estructuras de Concreto. Duodécima Edición. Santafé de Bogotá. McGRAW-HILL INTERAMERICANA, S.A. <https://marodyc.files.wordpress.com/2014/06/disec3b1o-de-estructuras-de-concreto-nilson-arthur.pdf>
- [28] NTE INEN 152. (2010). Cemento Portland. Requisitos. Quito: Instituto Ecuatoriano de Normalización.
- [29] NTE INEN 156 (2009). Cemento Hidráulico. Determinación de la Densidad. Quito: Instituto Ecuatoriano de Normalización.
- [30] NTE INEN 2380. (2011). Cemento Hidráulico. Requisitos de Desempeño para Cementos Hidráulicos. Quito: Instituto Ecuatoriano de Normalización.
- [31] NTE INEN 695. (2010). Áridos. Muestreo. Quito: Instituto Ecuatoriano de Normalización.
- [32] NTE INEN 696. (2011). Áridos. Análisis Granulométrico en los Áridos, Fino y Grueso. Quito: INEN.

- [33] NTE INEN 697. (2010). Áridos. Determinación del material más fino que pasa el tamiz de 75 um (No 200), Mediante lavado. Quito: Instituto Ecuatoriano de Normalización.
- [34] NTE INEN 855. (2010). Áridos. Determinación de las impurezas orgánicas en el Árido Fino para Hormigón. Quito: Instituto Ecuatoriano de Normalización.
- [35] NTE INEN 856. (2010). Áridos. Determinación de la densidad, densidad relativa y absorción del árido fino. Quito: Instituto Ecuatoriano de Normalización.
- [36] NTE INEN 857. (2010). Áridos. Determinación de la densidad, densidad relativa y absorción del árido grueso. Quito: Instituto Ecuatoriano de Normalización.
- [37] NTE INEN 858. (2010). Áridos. Determinación de la masa unitaria (peso volumétrico) y porcentaje de vacíos. Quito: Instituto Ecuatoriano de Normalización.
- [38] NTE INEN 860. (2011). Áridos. Determinación del valor de la degradación del árido grueso de partículas menores a 37.7mm mediante el uso de la máquina de los ángeles. Quito: Instituto Ecuatoriano de Normalización.
- [39] NTE INEN 872. (2011). Áridos para hormigón. Requisitos. Quito: Instituto Ecuatoriano de Normalización.
- [40] Pacheco-Torgal, F., & Jalali, S. (2011). Cementitious building materials reinforced with vegetable fibres: A review. In *Construction and Building Materials* (Vol. 25, Issue 2). <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2010.07.024>
- [41] Páez, A. (1986). *Hormigón Armado*. Barcelona. Editorial Reverté, S. A. Recuperado de <https://books.google.com.do/books?id=5wfVaiKduB8C&printsec=frontcover#v=onepage&q&f=false>
- [42] Prasad, SV, Pavithran, C. y Rohatgi, PK (1983) Tratamiento alcalino de fibras de coco para compuestos de coco y poliéster. *Revista de ciencia de materiales*, 18, 1443-1454. <https://doi.org/10.1007/BF01111964>
- [43] Pruna, L., Velasco, F., Chachapoya, F., & Paredes, C. (2020). Elaboración de la fibra de cabuya en tejido plano como matriz de refuerzo para la construcción de un retrovisor. *Ingenius*, 24. <https://doi.org/10.17163/ings.n24.2020.08>
- [44] Sanjuán, M., & Chinchón, S. (2014). Introducción a la fabricación y normalización del Cemento Portland. In *Nucleic Acids Research* (Vol. 34).

- [45] Significance of Tests and Properties of Concrete and Concrete-Making Materials. (2006). In ASTM Special Technical Publication: Vol. STP 169D. <https://doi.org/10.1520/stp169d-eb>
- [46] Sosa, M., Águila, I., & Centeno, Y. (2011). Desempeño del concreto reforzado con fibras de sisal para la producción de paneles exteriores. Tecnología constructiva.
- [47] Veigas, M. G., Najimi, M., & Shafei, B. (2022). Cementitious composites made with natural fibers: Investigation of uncoated and coated sisal fibers. Case Studies in Construction Materials, 16. <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2021.e00788>

5. ANEXOS

Anexo 1: Granulometría del Agregado Grueso



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



ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO

Código de Informe: GRA-23-005-I
Fecha de informe : 2023-10-11

Hoja 01 de 01

DATOS DEL CLIENTE

Razón social: Karla Taiz Morales Supa
Dirección: Ladrón de Guevara E11-253 y Andalucía
Teléfono: ****

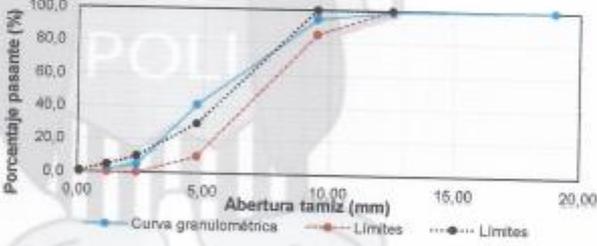
DATOS DEL PROYECTO

Proyecto: Análisis del hormigón reforzado con fibras de cabuya al 0.75% con tratamiento químico
Contratante: ***
Contratista: ***
Fiscalizador: ***

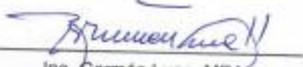
MUESTRA: Agregado grueso
PROCEDENCIA: ***
FECHA DE ENSAYO: 2023-08-09
NORMA: ASTM C136, ASTM C33

Código interno: 037-I-H-02-a
Identificación: Material triturado
Tamaño máximo nominal (mm): 9,5

Tamiz	Abertura de tamiz (mm)	Porcentaje Pasante (%)
3/4 in	19,00	100,0
1/2 in	12,50	99,4
3/8 in	9,50	94,2
N° 4	4,75	41,4
N° 8	2,36	5,0
N° 16	1,18	1,8
Bandeja	-	0,0
Módulo de finura		5,6



Observaciones: La información proporcionada por el cliente, tal como, muestra, procedencia e identificación, 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. Germán Luna, MBA
 JEFE DE LABORATORIO (SUBROGANTE)



F-T-6-06
Versión 02

Telf.: 2976300
Ext.: 1609

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

Anexo 2: Densidad Relativa y Absorción del Agregado Grueso



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



DENSIDAD RELATIVA Y ABSORCIÓN DE AGREGADOS

Código de informe: GSA-23-010-4
Fecha de informe: 2023-10-11

Hoja 01 de 01

DATOS DEL CLIENTE

Razón Social: Karla Taiz Morales Supa
Dirección: Ladrón de Guevara E11-253 y Andalucía
Teléfono: ***

DATOS DEL PROYECTO

Proyecto: Análisis del hormigón reforzado con fibras de cabuya al 0,75% con tratamiento químico.
Contratante: ***
Contratista: ***
Fiscalizador: ***
PROCEDENCIA: ***
TIPO DE MUESTRA: Indicados
NORMA: ASTM C126, NTE INEN 856, ASTM C127, NTE INEN 857
FECHA DE ENSAYO: 2023-08-14

Código interno	Descripción	Densidad relativa seca	Densidad relativa S.S.S	Densidad relativa aparente	Absorción de agua (%)
037-I-H-01-e	Agregado fino	2,30	2,44	2,86	5,96
037-I-H-02-e	Agregado grueso	2,45	2,56	2,74	4,36

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.

Ing. Germán Luna, MBA
JEFE DE LABORATORIO (SUBROGANTE)



Tel.: 2976300
Ext.: 1609

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

Anexo 3: Densidad Aparente del Agregado Grueso



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



DENSIDAD APARENTE DE AGREGADOS

Código de Informe: DA-23-010-I
Fecha de informe: 2023-10-11

Hoja 01 de 01

DATOS DEL CLIENTE

Razón Social: Karla Taiz Morales Supa
Dirección: Ladrón de Guevara E11-253 y Andalucía
Teléfono: ***

DATOS DEL PROYECTO

Proyecto: Análisis del hormigón reforzado con fibras de cabuya al 0.75% con tratamiento químico
Contratante: ***
Contratista: ***
Fiscalizador: ***
PROCEDENCIA: ***
TIPO DE MUESTRA: Indicados
EJECUTA: JV
FECHA DE ENSAYO: 2023-08-09
NORMA: ASTM C29 / INEN 958

DENSIDAD APARENTE DE AGREGADOS					
Código interno	Identificación	Muestra Suelta		Muestra Compactada	
		Densidad seca (kg/m ³)	Contenido de vacíos (%)	Densidad seca (kg/m ³)	Contenido de vacíos (%)
037-I-H-01-c	Agregado fino	1560	32	1640	29
037-I-H-02-c	Agregado grueso	1380	44	1450	41

Observaciones: La información proporcionada por el cliente, tal como, tipo de 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. Germán Luna, MBA
JEFE DE LABORATORIO (SUBROGANTE)



Telf.: 2976300
Ext.: 1609

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

Anexo 4: Abrasión del Agregado Grueso



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



ENSAYO DE ABRASIÓN

Código de Informe: ABR-23-004-I

Hoja 01 de 01

Fecha de informe : 2023-10-11

DATOS DEL CLIENTE

Razón social: Karla Taiz Morales Supa
Dirección: Ladrón de Guevara E11-253 y Andalucía
Teléfono: ***

DATOS DEL PROYECTO

Proyecto: Análisis del hormigón reforzado con fibras de cabuya al 0.75% con tratamiento químico
Contratante: ***
Contratista: ***
Fiscalizador: ***
TIPO DE MUESTRA: Agregado grueso
PROCEDENCIA: ***
FECHA DE ENSAYO: 2023-09-06
NORMA: ASTM C131

RESULTADOS DEL ENSAYO

Código interno:	037-I-H-02-d
Identificación de muestra:	Material triturado
Tamaño máximo nominal (mm):	3/8"
Gradación:	C
Número de esferas:	8
Masa inicial (g):	5013
Masa retenida en el tamiz #12 Luego de 100 revoluciones (g):	4483
Masa retenida en el tamiz #12 Luego de 500 revoluciones (g):	2871
Pérdida por abrasión e impacto (%) (100 revoluciones):	11
Pérdida por abrasión e impacto (%) (500 revoluciones):	43
Coefficiente de uniformidad	0,26

Observaciones:

La información proporcionada por el cliente, tal como, tipo de muestra, procedencia e identificación, 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. Germán Luna, MBA

JEFE DE LABORATORIO (SUBROGANTE)



Telf.: 2976300
Ext.: 1609

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

Anexo 5: Pasa Tamiz 200 del Agregado Grueso



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



PARTÍCULAS MENORES AL TAMIZ No. 200

Código de Informe: P200-23-004-I
Fecha de informe : 2023-10-11

Hoja 01 de 01

DATOS DEL CLIENTE

Razón social: Karía Taiz Morales Supa
Dirección: Ladrón de Guevara E11-253 y Andalucía
Teléfono: ***

DATOS DEL PROYECTO

Proyecto: Análisis del hormigón reforzado con fibras de cabuya al 0.75% con tratamiento químico
Contratante: ***
Contratista: ***
Fiscalizador: ***

MUESTRA: Agregado grueso

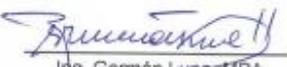
PROCEDENCIA: ***

FECHA DE ENSAYO: 2023-09-06

NORMA: ASTM C117

Código interno	037-I-H-02-b
Descripción	Material triturado
Tamaño máximo nominal (mm)	9,50
Método de ensayo	A (Lavado con agua)
Masa mínima requerida (g)	1000,00
Masa seca inicial (g)	1158,00
Masa seca final (g)	1148,60
Material que pasa el tamiz No. 200	0,8%

Observaciones: La información proporcionada por el cliente, tal como, muestra, procedencia y descripción, 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. Germán Luna, MBA
JEFE DE LABORATORIO (SUBROGANTE)



Telf.: 2976300
Ext.: 1609

Anexo 6: Granulometría del Agregado Fino



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



ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO

Código de Informe: GRA-24-002-I
Fecha de informe: 2024-01-23

Hoja 01 de 01

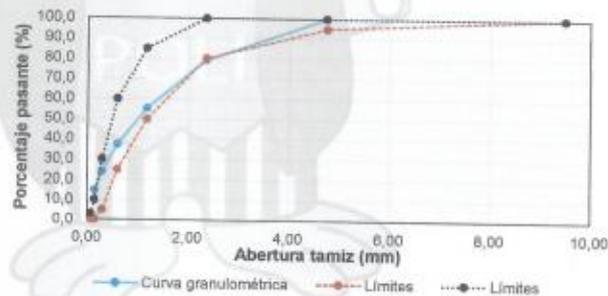
DATOS DEL CLIENTE

Razón social: Karla Taiz Morales Supa
Dirección: Ladrón de Guevara E11-253 y Andalucía
Teléfono: ****

DATOS DEL PROYECTO

Proyecto: Análisis del hormigón reforzado con fibras de cabuya al 0.75% con tratamiento químico
Contratante: ***
Contratista: ***
Fiscalizador: ***
MUESTRA: Agregado fino
PROCEDENCIA: ***
FECHA DE ENSAYO: 2023-11-30
NORMA: ASTM C136, ASTM C117, ASTM C33
Código interno: 037-I-H-04-a
Identificación: Arena
Tamaño máximo nominal (mm): 4,75

Tamiz	Abertura de tamiz (mm)	Porcentaje Pasante (%)
3/8 in	9,50	100,0
N° 4	4,75	99,9
N° 8	2,36	79,4
N° 16	1,18	55,3
N° 30	0,60	37,2
N° 50	0,30	24,1
N° 100	0,15	14,9
Bandeja	-	0,0
Módulo de finura		2,9



Observaciones: La información proporcionada por el cliente, tal como, muestra, procedencia e identificación, 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 parcialmente sin la autorización del LEMSUR.

Ing. Mercedes Villacís
JEFE DE LABORATORIO



Telf.: 2976300
Ext.: 1609

F-T-6-06

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

Anexo 7: Densidad Relativa y Absorción del Agregado Fino



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



DENSIDAD RELATIVA Y ABSORCIÓN DE AGREGADOS

Código de Informe: GSA-24-002-I
Fecha de Informe: 2024-01-24

Hoja 01 de 01

DATOS DEL CLIENTE

Razón Social: Karla Tiz Morales Supa
Dirección: Ladrón de Guevara E11-253 y Andalucía
Teléfono: ***

DATOS DEL PROYECTO

Proyecto: Análisis del hormigón reforzado con fibras de cabuya al 0.75% con tratamiento químico
Contratante: ***
Contratista: ***
Fiscalizador: ***
PROCEDENCIA: ***
TIPO DE MUESTRA: Agregado fino
NORMA: ASTM C129, NTE INEN 856
FECHA DE ENSAYO: 2023-11-30

Identificación	Descripción	Densidad relativa seca	Densidad relativa S.S.B	Densidad relativa aparente	Absorción de agua (%)
037-IH-04-d	Arena	2,25	2,46	2,87	9,69

Observaciones: El término "Densidad relativa S.S.B" 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 las flotas ensayadas bajo las condiciones del Laboratorio. El contenido del presente informe no podrá reproducirse parcialmente 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 8: Densidad Aparente del Agregado Fino



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



DENSIDAD APARENTE DE AGREGADOS

Código de Informe: DA-24-002-I
Fecha de informe: 2024-01-24

Hoja 01 de 01

DATOS DEL CLIENTE

Razón Social: Karla Taiz Morales Supa
Dirección: Ladrón de Guevara E11-253 y Andalucía
Teléfono: ***

DATOS DEL PROYECTO

Proyecto: Análisis del hormigón reforzado con fibras de cabuya al 0,75% con tratamiento químico
Contratante: ***
Contratista: ***
Fiscalizador: ***

PROCEDENCIA:

TIPO DE MUESTRA: Agregado fino

EJECUTA: JV

FECHA DE ENSAYO: 2023-11-30

NORMA: ASTM C29 / INEN 858

DENSIDAD APARENTE DE AGREGADOS					
Código interno	Identificación	Muestra Suelta		Muestra Compactada	
		Densidad seca (kg/m ³)	Contenido de vacíos (%)	Densidad seca (kg/m ³)	Contenido de vacíos (%)
037-IH-04-e	Arena	1520	32	1680	25

Observaciones: El valor de densidad relativa seca utilizado en el cálculo del contenido de vacíos se tomó del informe GSA-24-002-I. La información proporcionada por el cliente, tal como, tipo de 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 parcialmente sin la autorización del LEMSUR.


Ing. Mercedes Villacis
JEFE DE LABORATORIO



Telf.: 2976300
Ext.: 1609

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

Anexo 9: Contenido Orgánico del Agregado Fino



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



CONTENIDO ORGÁNICO

Código de Informe: CO-24-002-1

Hoja 01 de 01

Fecha de Informe : 2024-01-23

DATOS DEL CLIENTE

Razón Social: Karla Taiz Morales Supa
Dirección: Ladrón de Guevara E11-253 y Andalucía
Teléfono: ***

DATOS DEL PROYECTO

Proyecto: Análisis del hormigón reforzado con fibras de cabuya al 0.75% con tratamiento químico

Contratante: ***

Contratista: ***

Fiscalizador: ***

PROCEDENCIA: ***

TIPO DE MUESTRA: Agregado fino

CÓDIGO INTERNO: 037-1+1-04-c

IDENTIFICACIÓN: AF

FECHA DE ENSAYO: 2023-11-30

NORMA: ASTM C40

ENSAYO DE CONTENIDO ORGÁNICO											
	<p>Escala "Organic Color Plate"</p> <table><tr><td>1</td><td><input checked="" type="checkbox"/></td></tr><tr><td>2</td><td><input type="checkbox"/></td></tr><tr><td>3</td><td><input type="checkbox"/></td></tr><tr><td>4</td><td><input type="checkbox"/></td></tr><tr><td>5</td><td><input type="checkbox"/></td></tr></table>	1	<input checked="" type="checkbox"/>	2	<input type="checkbox"/>	3	<input type="checkbox"/>	4	<input type="checkbox"/>	5	<input type="checkbox"/>
1	<input checked="" type="checkbox"/>										
2	<input type="checkbox"/>										
3	<input type="checkbox"/>										
4	<input type="checkbox"/>										
5	<input type="checkbox"/>										

Observaciones: La información proporcionada por el cliente, tal como, procedencia, tipo de muestra e identificación, 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 parcialmente sin la autorización del LEMSUR.

Ing. Mercedes Villacis
JEFE DE LABORATORIO



Telf.: 2976300
Ext.: 1609

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

Anexo 10: Pasa Tamiz 200 del Agregado Fino



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



PARTÍCULAS MENORES AL TAMIZ No. 200

Código de Informe: P200-24-002-I

Hoja 01 de 01

Fecha de informe : 2024-01-23

DATOS DEL CLIENTE

Razón social: Karla Taiz Morales Supa
Dirección: Ladrón de Guevara E11-253 y Andalucía
Teléfono: ***

DATOS DEL PROYECTO

Proyecto: Análisis del hormigón reforzado con fibras de cabuya al 0.75% con tratamiento
Contratante: ***
Contratista: ***
Fiscalizador: ***
MUESTRA: Agregado fino
PROCEDENCIA: ***
FECHA DE ENSAYO: 2023-11-30
NORMA: ASTM C117

Código interno	037-I-H-04-b
Descripción	Arena
Tamaño máximo nominal (mm)	4,75
Método de ensayo	A (Lavado con agua)
Masa mínima requerida (g)	1000,00
Masa seca inicial (g)	1000,50
Masa seca final (g)	970,80
Material que pasa el tamiz No. 200	3,0%

Observaciones: La información proporcionada por el cliente, tal como, muestra, procedencia y descripción, 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 parcialmente sin la autorización del LEMSUR.

Ing. Mercedes Villacís
JEFE DE LABORATORIO



Tel.: 2976300
Ext.: 1609

Anexo 11: Densidad Real del Cemento



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



DENSIDAD REAL DEL CEMENTO

Código de Informe: DCH-23-002-I
Fecha de Informe: 2023-10-30

Hoja 01 de 01

DATOS DEL CLIENTE

Razón social: Karla Talz Morales Supa
Dirección: Ladrón de Guevara E11-253 y Andalucía
Teléfono: ***

DATOS DEL PROYECTO

Proyecto: Análisis del hormigón reforzado con fibras de cabuya al 0.75% con tratamiento químico
Contratante: ***
Contratista: ***
Fiscalizador: ***
NORMA: ASTM C188
FECHA DE ENSAYO: 2023-09-07

CARACTERÍSTICAS DE LA MUESTRA			
Identificación	Marca	Tipo de Cemento	Fecha de fabricación
***	HOLCIM	GU	***

DENSIDAD REAL DEL CEMENTO						
Código Interno	Volumen inicial (cm ³)	Masa inicial (g)	Volumen final (cm ³)	Masa final (g)	Δ Temperatura (°C)	Densidad Real (g/cm ³)
037-I-H-03 a	1,0	321,4	21,0	380,0	0,0	2,93
037-I-H-03 b	0,6	325,0	19,9	380,4	0,0	2,97
Promedio						2,96

Observaciones: La información proporcionada por el cliente, tal como, marca, tipo de cemento y fecha de fabricación, involucra su total responsabilidad. Los resultados reportados en el presente informe corresponden únicamente a los items 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



Telf.: 2976300
Ext.: 1609

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

Anexo 12: Ensayos en Fibra con Tratamiento



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA QUÍMICA
CENTRO TEXTIL POLITÉCNICO



INFORME No. CTP-ITI-2023-10-02

Página 2 de 5

FIBRAS DE CABUYA CON TRATAMIENTO

Resistencia y elongación a la rotura, tenacidad (ASTM D 2256), velocidad de prueba 10 mm/min

Probeta	Fuerza rotura [N]	Elongación [%]	Densidad lineal [tex]	Tenacidad [cN/tex]
1	5,43	0,06811	27,62	0,197
2	4,87	0,12581	19,43	0,251
3	1,01	0,08761	23,33	0,043
4	5,55	0,08923	24,29	0,229
5	1,66	0,04655	12,92	0,128
6	1,89	0,06620	8,10	0,234
7	4,27	0,05075	18,57	0,230
8	5,38	0,08053	27,27	0,197
9	3,88	0,06607	21,80	0,178
10	4,14	0,07671	18,66	0,222
11	1,66	0,02919	25,00	0,066
12	2,77	0,04323	19,52	0,142
13	2,77	0,19185	10,00	0,277
14	1,84	0,04587	20,00	0,092
15	4,64	0,12058	17,54	0,265
16	2,88	0,06440	22,86	0,126
17	7,53	0,10048	25,00	0,301
18	3,53	0,08363	17,62	0,200
19	2,00	0,06019	14,90	0,134
20	4,00	0,08361	21,80	0,184
21	6,86	0,09250	26,19	0,262
22	1,48	0,12667	16,67	0,089
23	1,32	0,05804	14,29	0,092
24	2,44	0,05822	13,33	0,183
25	4,18	0,08958	20,19	0,207
26	2,91	0,05824	18,57	0,157
27	2,69	0,06103	19,52	0,138
28	2,50	0,05200	16,67	0,150
29	3,71	0,09847	13,27	0,280
30	3,21	0,06314	20,67	0,155
31	3,59	0,08681	17,14	0,209
32	5,98	0,10380	21,90	0,273
33	5,20	0,11185	20,10	0,259
34	2,93	0,04517	21,05	0,139
35	3,65	0,07580	14,42	0,253
Media	3,55	0,07891	19,15	0,187
Desviación estándar	1,60	0,03	4,68	0,07



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

Dirección: Andalucía N22-441 y Veintimilla. Teléfonos: 2976 300 – 3938 780 Ext. 4305-4306-43-07
E-mail: omar.bonilla@epn.edu.ec; hilda.trujillo@epn.edu.ec



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



INFORME No. CTP-ITI-2023-10-02

Página 3 de 5

FIBRAS DE ABACÁ CON TRATAMIENTO

PROPIEDADES DETERMINADAS	NORMA	RESULTADOS
Contenido de humedad (%)	ASTM D4442-20	6,7 +/- 0,8

Responsable del Centro Textil

Hilda Trujillo
Ing. Hilda Trujillo, MBA.



**Jefe Subrogante del Departamento de Ingeniería
Química**

Andrés Chico
Ing. Andrés Chico, PhD.

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

Dirección: Andalucía N22-441 y Veintimilla Teléfonos: 2976 300 – 3938 780 Ext. 4305-4306-43-07
E-mail: omar.bonilla@epn.edu.ec; hilda.trujillo@epn.edu.ec

Anexo 13: Ensayos en Fibra sin Tratamiento



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA QUÍMICA
CENTRO TEXTIL POLITÉCNICO



INFORME No. CTP-ITI-2023-10-02

Página 4 de 5

FIBRAS DE CABUYA SIN TRATAMIENTO

Resistencia y elongación a la rotura, tenacidad (ASTM D 2256), velocidad de prueba 10 mm/min

Probeta	Fuerza rotura [N]	Elongación [%]	Densidad lineal [tex]	Tenacidad [eN/tex]
1	11,5	0,07923	29,05	0,394
2	10,8	0,08189	30,62	0,354
3	11,9	0,08110	27,14	0,437
4	12,7	0,07656	31,13	0,408
5	13,8	0,07549	36,49	0,378
6	8,89	0,06951	30,00	0,296
7	11,6	0,06233	40,00	0,290
8	9,97	0,06892	32,86	0,303
9	12,4	0,07082	31,90	0,390
10	6,18	0,05143	24,17	0,256
11	11,4	0,05908	36,67	0,310
12	14,1	0,08289	31,90	0,442
13	15,6	0,06574	43,06	0,361
14	9,63	0,06631	24,40	0,395
15	20,4	0,08829	42,38	0,482
16	8,96	0,06012	36,67	0,244
17	10,9	0,07003	27,62	0,396
18	18,6	0,08594	36,49	0,510
19	5,96	0,03493	31,10	0,192
20	11,8	0,07734	29,05	0,408
21	13,7	0,06766	32,54	0,421
22	12,7	0,07757	30,00	0,424
23	4,49	0,04022	14,76	0,304
24	12,7	0,08211	29,05	0,437
25	6,51	0,05583	24,88	0,262
26	7,04	0,06658	20,10	0,350
27	18,9	0,08123	39,81	0,475
28	7,49	0,05542	20,00	0,374
29	10,4	0,06534	32,38	0,321
30	7,82	0,05064	36,54	0,214
31	13,3	0,07923	29,19	0,456
32	11,8	0,07738	39,53	0,300
33	9,59	0,07634	32,38	0,296
34	16,3	0,06614	40,95	0,398
Media	11,5	0,06911	31,61	0,361
Desviación estándar	3,72	0,01	6,59	0,08



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

Dirección: Andalucía N22-441 y Veintimilla Teléfonos: 2976 300 – 3938 780 Ext. 4305-4306-43-07
E-mail: osmar.bonilla@cpn.edu.ec; hilda.trujillo@cpn.edu.ec

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA QUÍMICA
CENTRO TEXTIL POLITÉCNICO



INFORME No. CTP-ITI-2023-10-02

Página 5 de 5

FIBRAS DE ABACÁ SIN TRATAMIENTO

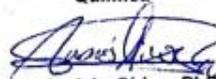
PROPIEDADES DETERMINADAS	NORMA	RESULTADOS
Contenido de humedad (%)	ASTM D4442-20	8,5 +/- 1,3

Responsable del Centro Textil


Ing. Hilda Trujillo, MBA.



Jefe Subrogante del Departamento de Ingeniería Química


Ing. Andrés Chico, PhD.

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

Dirección: Andalucía N22-441 y Veintimilla Teléfonos: 2976 300 - 3938 780 Ext. 4305-4306-43-07
E-mail: gnar.bonilla@cpn.edu.ec; hilda.trujillo@cpn.edu.ec

Anexo 14: Compresión de Cilindros de Hormigón Patrón



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



COMPRESIÓN DE CILINDROS DE HORMIGÓN

Código de Informe: CC-24-002-I
Fecha de informe: 2024-01-23

Hoja 01 de 01

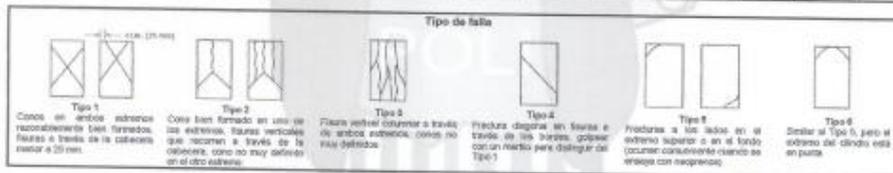
DATOS DEL CLIENTE

Razón social: Karla Taiz Morales Supa
Dirección: Ladrón de Guevara E11-253 y Andalucía
Teléfono: ***

DATOS DEL PROYECTO

Proyecto: Análisis del hormigón reforzado con fibras de cabuya al 0.75% con tratamiento químico
Contratante: ***
Contratista: ***
Fiscalizador: ***
ELEMENTO: ***
NORMA: ASTM C39

No.	Identificación	Fecha fabricación	Fecha rotura	Edad (días)	Diámetro (mm)	Área (mm ²)	Peso* específico (kg/m ³)	Carga Máxima (kN)	Tipo de falla	Defectos	Resistencia	
											(MPa)	± U
1	Dosificación Patrón 1	2023-11-29	2023-12-06	7	100,75	7972	2214	99,6	Tipo 3	C	12,5	1,3E-02
2	Dosificación Patrón 2	2023-11-29	2023-12-06	7	100,75	7972	2214	99,4	Tipo 3	C	12,5	1,3E-02
3	Dosificación Patrón 1	2023-12-11	2024-01-09	29	100,75	7972	2190	183,9	Tipo 2	C	23,0	3,5E-02
4	Dosificación Patrón 2	2023-12-11	2024-01-09	29	100,75	7972	2201	181,4	Tipo 2	C	22,8	3,1E-02
5	Dosificación Patrón 3	2023-12-11	2024-01-09	29	100,75	7972	2201	197,0	Tipo 2	C	24,7	3,1E-02
6	Dosificación Patrón 1	2024-01-03	2024-01-17	14	100,50	7933	2180	127,6	Tipo 5	C	16,1	2,7E-03
7	Dosificación Patrón 2	2024-01-03	2024-01-17	14	100,75	7972	2166	126,5	Tipo 4	C	16,1	2,7E-03
8	Dosificación Patrón 3	2024-01-03	2024-01-17	14	100,75	7972	2173	126,7	Tipo 2	C	15,9	2,7E-02



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

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

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

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

El contenido del presente informe no podrá reproducirse parcialmente sin la autorización del LEMSUR.

Ing. Mercedes Vilacis
JEFE DE LABORATORIO



F-14-08
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

Anexo 15: Compresión de Cilindros de Hormigón con Fibras



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



COMPRESIÓN DE CILINDROS DE HORMIGÓN

Código de Informe: CC-24-008-I
Fecha de Informe: 2024-01-23

Hoja 01 de 01

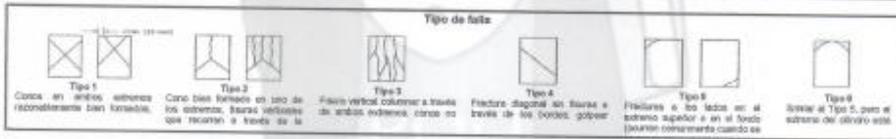
DATOS DEL CLIENTE

Razón social: Karla Tatz Morales Supa
Dirección: Ladrón de Guevara E11-253 y Andalucía
Teléfono: ***

DATOS DEL PROYECTO

Proyecto: Análisis del hormigón reforzado con fibras de cabuya al 0,75% con tratamiento químico
Contratante: ***
Contratista: ***
Fiscalizador: ***
ELEMENTO: ***
NORMA: ASTM C39

No.	Identificación	Fecha fabricación	Fecha rotura	Edad (días)	Diámetro (mm)	Área (mm ²)	Peso específico (kg/m ³)	Carga Máxima (kN)	Tipo de falla	Defectos	Resistencia	
											(MPa)	± U
1	DP al 0,75% C1	2023-12-14	2023-12-21	7	101,00	8012	2165	103,0	Tipo 2	C	12,8	1,3E-02
2	DP al 0,75% C2	2023-12-14	2023-12-21	7	100,75	7972	2175	104,4	Tipo 2	C	13,1	1,3E-02
3	DP al 0,75% C3	2023-12-14	2023-12-21	7	100,50	7933	2194	100,7	Tipo 2	C	12,7	1,3E-02
4	DP al 0,75% C1	2023-12-14	2024-01-15	32	100,75	7972	2176	169,1	Tipo 2	C	21,2	2,7E-02
5	DP al 0,75% C2	2023-12-14	2024-01-15	32	101,00	8012	2174	165,8	Tipo 2	C	30,7	2,7E-02
6	DP al 0,75% C3	2023-12-14	2024-01-15	32	100,75	7972	2186	156,7	Tipo 2	C	19,7	2,7E-02



Desviación de defectos: A = Ninguno; B = Segregado; C = Porosidad; D = Fibras prescristalizadas; E = Otro.
Observaciones: Todos los datos del tipo 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 únicamente a los items ensayados bajo las condiciones del Laboratorio.
U, expresada en MPa, representa la incertidumbre expandida de los resultados.
El tipo de falla y defectos corresponde a la especificación en la norma ASTM C39.
Los parámetros que se encuentran resaltados con (*) no se encuentran dentro del alcance de acreditación.
Los perímetros de las muestras resaltadas con (*) no se encuentran dentro del alcance de acreditación.
El contenido del presente informe no podrá ser utilizado parcialmente sin la autorización del LEMSUR.

Ing. Mercedes Vilacis
JEFE DE LABORATORIO



HT-00
Versión 03

Telf.: 2976300
Ext.: 1609

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

Anexo 16: Flexión en Vigas de Hormigón Patrón



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



FLEXIÓN EN HORMIGÓN

Código de Informe: FLEKV-23-002-I
Fecha de Informe: 2024-01-23

Hoja 01 de 01

DATOS DEL CLIENTE

Razón social: Karla Taiz Morales Supa
Dirección: Ladrón de Guevara E11-253 y Andalucía
Teléfono: ***

DATOS DEL PROYECTO

Proyecto: Análisis del hormigón reforzado con fibras de cabuya al 0.75% con tratamiento químico
Contratante: ***
Contratista: ***
Fiscalizador: ***
ELEMENTO: Viga
ANALISTA: J.V, J.M
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	2023-12-12	HP Viga 1	2023-12-19	7	102	100	300	6985	2,00
2	2023-12-12	HP Viga 2	2023-12-19	7	100	102	300	7630	2,26
3	2023-12-12	HP Viga 1	2024-01-09	28	101	102	300	8320	2,40
4	2023-12-12	HP Viga 2	2024-01-09	28	101	102	300	9830	2,85

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 hornos ensayados bajo las condiciones del Laboratorio. El contenido del presente informe no podrá reproducirse parcialmente sin la autorización del LEMSUR.

Ing. Mercedes Villacís
JEFE DE LABORATORIO



Telf.: 2976300
Ext.: 1609

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

Anexo 17: Flexión en Vigas de Hormigón con Fibras



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



FLEXIÓN EN HORMIGÓN

Código de informe: FLEXV-23-006-I
Fecha de informe: 2024-01-23

Hoja 01 de 01

DATOS DEL CLIENTE

Razón social: Karla Taiz Morales Supe
Dirección: Ladrón de Guevara E11-253 y Andalucía
Teléfono: ***

DATOS DEL PROYECTO

Proyecto: Análisis del hormigón reforzado con fibras de cabuya al 0.75% con tratamiento químico
Contratante: ***
Contratista: ***
Fiscalizador: ***
ELEMENTO: Viga
ANALISTA: JV, JM
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	2023-12-14	DP al 0,75% V1	2023-12-21	7	101	100	300	7370	2,16
2	2023-12-14	DP al 0,75% V2	2023-12-21	7	101	100	300	7110	2,10
3	2023-12-14	DP al 0,75% V3	2023-12-21	7	103	101	300	7310	2,05
4	2023-12-14	DP al 0,75% V1	2024-01-15	32	101	99	300	12802	3,80
5	2023-12-14	DP al 0,75% V2	2024-01-15	32	102	102	300	12225	3,45
6	2023-12-14	DP al 0,75% V3	2024-01-15	32	102	99	300	12473	3,65

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

Ing. Mercedes Villacís
JEFE DE LABORATORIO



Tel.: 2976300
Ext.: 1609

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