

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 A: ANÁLISIS DEL HORMIGÓN REFORZADO
CON FIBRAS DE CABUYA AL 0,5% CON TRATAMIENTO
QUÍMICO**

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

NAYELI YAJAIRA LLUAY GUILCAPI

nayeli.lluay@epn.edu.ec

nayeli-2000@hotmail.com

DIRECTOR: MSc. NICOLAY BERNARDO YANCHAPANTA GÓMEZ

nicolay.yanchapanta@epn.edu.ec

DMQ, Marzo 2024

CERTIFICACIONES

Yo, Nayeli Yajaira Lluay Guilcapi 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.

NAYELI YAJAIRA LLUAY GUILCAPI

Certifico que el presente trabajo de integración curricular fue desarrollado por NAYELI YAJAIRA LLUAY GUILCAPI, bajo mi supervisión

NICOLAY BERNARDO 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.

NAYELI YAJAIRA LLUAY GUILCAPI

NICOLAY BERNARDO YANCHAPANTA GÓMEZ

DEDICATORIA

Este Trabajo de Integración Curricular va dedicado a mis padres, quienes han sido el apoyo incondicional a lo largo de mi vida universitaria.

A mi madre Elsa, por instruirme en cómo sobreponerme en situaciones difíciles y brindarme la seguridad de que siempre encontraré una solución.

A mi padre Washington, por inculcarme el valor de que todo esfuerzo tiene su recompensa y por enseñarme la importancia de trabajar arduamente para alcanzar mis sueños.

A mí, como un recordatorio de la perseverancia, dedicación y crecimiento personal que ha sido necesario para llegar hasta aquí.

AGRADECIMIENTO

A mi mamá, Elsa Guilcapi, por ser mi inspiración constante, mi guía incondicional y mi mayor apoyo. Tu amor infinito y tu sacrificio han sido los pilares fundamentales en este viaje académico. Gracias por estar a mi lado durante los desafíos y las alegrías, por alentarme a dar lo mejor de mí y por celebrar cada logro como si fuera propio.

A mi papá, Washington Lluay, por el inquebrantable apoyo y esfuerzo por darme lo mejor. Tus palabras de aliento, tu sabiduría y tu ejemplo de trabajo arduo han sido una constante inspiración para mí.

A mis hermanas Erika, Katherin y Deysi, por su apoyo y complicidad brindándome ánimo, compartiendo mis alegrías y alentándome en los momentos difíciles. Su presencia constante ha sido un recordatorio de la importancia del amor familiar y del apoyo mutuo.

A mis amigos de la universidad, y en especial a Karla, quien ha trascendido el papel de simple compañera de clase para convertirse en un pilar fundamental de mi vida académica y personal. Karla, has sido mi confidente, mi apoyo incondicional y mi cómplice en cada paso de este viaje. Cada risa compartida, cada momento de estudio y cada conversación profunda ha fortalecido nuestro vínculo y dejado una huella imborrable en mi corazón y en mi memoria. A Emilio, por ser la fuente inagotable de risas y diversión que ha iluminado nuestros días universitarios con su energía contagiosa. A todos mis queridos compañeros, que con su compañía, risas y conocimientos compartidos, han hecho de esta experiencia académica un tesoro invaluable en mi vida. Juntos, hemos creado recuerdos que perdurarán para siempre en mi corazón

Al Ing. Nicolay Yanchapanta, por la invaluable orientación y apoyo durante el proceso de elaboración de este trabajo. Sus consejos y sugerencias han sido fundamentales para enriquecer cada etapa de este proyecto. Además, del tiempo y la dedicación que ha invertido para contribuir a la culminación exitosa de este importante viaje académico.

A la Escuela Politécnica Nacional, al Centro Textil y al LEMSUR, así como a todos sus colaboradores y profesores, les expreso mi profundo agradecimiento por proporcionarme las herramientas necesarias para mi crecimiento intelectual y desarrollo personal. Desde el primer día en que ingresé, supe que me adentraba en un mundo de posibilidades y aprendizaje único. Cada clase, cada desafío académico y cada experiencia vivida en este campus ha sido esencial en mi formación.

ÍNDICE DE CONTENIDO

CERTIFICACIONES	I
DECLARACIÓN DE AUTORÍA.....	II
DEDICATORIA	III
AGRADECIMIENTO	IV
ÍNDICE DE CONTENIDO.....	V
RESUMEN	IX
ABSTRACT.....	X
1. DESCRIPCIÓN DEL COMPONENTE DESARROLLADO.....	1
1.1. Objetivo General.....	2
1.2. Objetivos específicos.....	2
1.3. Alcance	3
1.4. Marco teórico	3
1.4.1. Hormigón.....	3
1.4.1.1. Hormigón reforzado con fibras.....	7
1.4.2. Fibras naturales	8
1.4.3. Cabuya	8
1.4.4. Tratamientos químicos que se le aplican a las fibras naturales	10
2. METODOLOGÍA.....	11
2.1. Tipo de Investigación	11
2.2. Lugar de realización	11
2.3. Obtención de materiales	11
2.3.1. Agregados	11
2.3.2. Cemento.....	12
2.3.3. Fibras de cabuya	12
2.4. Tratamiento de materiales y sus pruebas de laboratorio.....	12
2.4.1. Agregados	12
2.4.2. Cemento.....	29
2.4.3. Fibras de cabuya	33
2.5. Dosificación del hormigón.....	38
2.6. Elaboración y ensayo de cilindros y vigas	39

2.6.1.	Cilindros	39
2.6.2.	Vigas	42
2.6.2.3.	Deflexión en vigas	47
3.	RESULTADOS, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	47
3.1.	Resultados	47
3.1.1.	Resistencia a la compresión en cilindros	47
3.1.2.	Flexión en vigas	51
3.1.3.	Deflexión en vigas	54
4.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	58
5.	ANEXOS	65
5.1.	Anexo 1: Informe de Fibras con tratamiento y sin tratamiento	66
5.2.	Anexo 2: Densidad Real del Cemento	71
5.3.	Anexo 3: Consistencia normal del cemento	72
5.4.	Anexo 4: Ensayo de abrasión del agregado grueso	73
5.5.	Anexo 5: Contenido orgánico arena preliminar	74
5.6.	Anexo 6: Densidad aparente de agregados	75
5.7.	Anexo 7: Análisis granulométrico del agregado grueso	76
5.8.	Anexo 8: Análisis granulométrico del agregado fino preliminar	77
5.9.	Anexo 9: Densidad Relativa y abrasión de agregados	78
5.10.	Anexo 10: Partículas menores al Tamiz No. 200 del agregado fino preliminar	79
5.11.	Anexo 11: Partículas menores al Tamiz No. 200 del agregado grueso	80
5.12.	Anexo 12: Densidad aparente arena definitiva	81
5.13.	Anexo 13: Contenido orgánico del agregado fino definitivo	82
5.14.	Anexo 14: Densidad Relativa y abrasión del agregado fino definitivo	83
5.15.	Anexo 15: Análisis granulométrico del agregado fino definitivo	84
5.16.	Anexo 16: Partículas menores al Tamiz No. 200 del agregado fino definitivo	85
5.17.	Anexo 17: Compresión de cilindros de hormigón patrón	86
5.18.	Anexo 18: Compresión de cilindros de hormigón con fibras de cabuya al 0,5% en peso del agregado fino	87
5.19.	Anexo 19: Falla a compresión de los cilindros de hormigón con fibras de cabuya al 0,5% en peso del agregado grueso.	88
5.20.	Anexo 20: Flexión en vigas de hormigón patrón	90
5.21.	Anexo 21: Flexión en vigas de hormigón con fibras de cabuya al 0,5% en peso del agregado grueso.	91

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Clasificación de las muestras obtenidas	18
Tabla 2: Carga Abrasiva, según la gradación	18
Tabla 3: Análisis granulométrico del agregado grueso.....	21
Tabla 4: Resultados de la caracterización del agregado grueso.....	22
Tabla 5: Escala de Gardner, en comparación con los colores del plato orgánico.	26
Tabla 6: Análisis granulométrico para el agregado fino preliminar y definitivo.....	26
Tabla 7: Comparación de los resultados obtenidos de los ensayos para los agregados finos preliminar y definitivo.....	28
Tabla 8: Resultado de los parámetros del cemento.....	32
Tabla 9: Resultados de la evaluación de las fibras sin tratar.....	36
Tabla 10: Resultados de la evaluación de las fibras tratadas químicamente.....	37
Tabla 11: Dosificación definitiva del hormigón patrón.....	39
Tabla 12: Número de cilindros para la prueba de compresión, módulo de elasticidad y fuerza aplicada	40
Tabla 13: Número de vigas para las pruebas de flexión y deflexión	43
Tabla 14: Carga máxima y resistencia a la compresión de cilindros de hormigón sin fibras.....	48
Tabla 15: Carga máxima y resistencia a la compresión de cilindros de hormigón con fibras.....	49
Tabla 16: Resultados promedio de resistencia a la compresión en cilindros de hormigón patrón a los 7, 14 y 29 días de curado, y de hormigón reforzado con fibras a los 7 y 33 días de curado.	50
Tabla 17: Resistencia a la flexión en vigas de hormigón patrón	52
Tabla 18: Resistencia a la flexión en vigas de hormigón reforzado con fibras.....	52
Tabla 19: Resistencia promedio a la flexión en vigas	53
Tabla 20: Resultados de deflexión en vigas con hormigón patrón y con hormigón reforzado con fibras	55
Tabla 21: Resultados promedio de la deflexión en vigas.....	55

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Obtención de las fibras de cabuya en el mercado San Roque	12
Figura 2: Agregado grueso.....	13
Figura 3: Máquina tamizadora.....	13
Figura 4: Agregado grueso en estado SSS	15
Figura 5: Enrasado del agregado grueso.....	16
Figura 6: Varillado del agregado grueso	17
Figura 7: Esferas para el ensayo de abrasión.....	19
Figura 8: Ensayo de abrasión del agregado grueso.....	19
Figura 9: Curva granulométrica del agregado grueso.....	21
Figura 10: Preparación del agregado fino al estado SSS.....	23
Figura 11: Enrasado del agregado fino	25
Figura 12: Curva granulométrica del agregado fino preliminar	27
Figura 13: Curva granulométrica del agregado fino definitivo.....	27
Figura 14: Resultados del análisis del contenido orgánico de la arena preliminar	29
Figura 15: Resultados del análisis del contenido orgánico de la arena definitiva	29
Figura 16: Ensayo de densidad real del cemento.....	30

Figura 17: Fuerza de Rotura.....	37
Figura 18: <i>Elongación</i>	37
Figura 19: <i>Densidad Lineal</i>	38
Figura 20: <i>Tenacidad</i>	38
Figura 21: Proceso de mezcla de hormigón con fibras.....	39
Figura 22: Desencofrado de cilindros.....	41
Figura 23: Cuarto de curado de cilindros.....	41
Figura 24: Ensayo a compresión de cilindros.....	42
Figura 25: Encofrado de cilindros y vigas.....	43
Figura 26: Desencofrado de las vigas.....	44
Figura 27: Marcado de las vigas para el ensayo de flexión.....	44
Figura 28: Preparación de la viga para el ensayo a flexión.....	45
Figura 29: Registro de datos del ensayo a flexión en vigas.....	47
Figura 30: Resistencia a la compresión en cilindros.....	50
Figura 31: Resistencia a la flexión en vigas.....	53
Figura 32: Falla de una viga a flexión.....	54
Figura 33: Rotura de una viga por ensayo a flexión.....	54

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1: Resistencia a la flexión en las vigas.....	7
Ecuación 2: Porcentaje de contenido retenido en los tamices.....	14
Ecuación 3: Módulo de finura.....	14
Ecuación 4: Densidad relativa seca al horno del agregado grueso.....	15
Ecuación 5: Densidad relativa SSS del agregado grueso.....	15
Ecuación 6: Densidad relativa aparente del agregado grueso.....	15
Ecuación 7: Absorción del agregado grueso.....	16
Ecuación 8: Densidad suelta o compactada de los agregados.....	17
Ecuación 9: Abrasión del agregado grueso.....	19
Ecuación 10: Coeficiente de uniformidad del agregado grueso.....	19
Ecuación 11: Partículas menores que 75 μm (tamiz N°200) de los agregados.....	20
Ecuación 12: Densidad relativa SSS del agregado fino.....	24
Ecuación 13: Absorción del agregado fino.....	24
Ecuación 14: Densidad real del cemento.....	30
Ecuación 15: Consistencia normal del cemento.....	32
Ecuación 16: Humedad de las fibras.....	34
Ecuación 17: Absorción de las fibras.....	34
Ecuación 18: Densidad SSS de las fibras de cabuya.....	35
Ecuación 19: Tenacidad de las fibras.....	35
Ecuación 20: Elongación de las fibras.....	36
Ecuación 21: Esfuerzo máximo de cilindro.....	42
Ecuación 22: Velocidad de carga.....	45
Ecuación 23: Módulo de ruptura, si se dio dentro del tercio medio.....	46
Ecuación 24: Módulo de ruptura, si la fractura se presentó fuera del tercio medio, a una distancia máxima del 5% del largo de la luz.....	46

RESUMEN

Este estudio tiene como objetivo la evaluación de la resistencia de cilindros ensayados a compresión, así como la resistencia de las vigas ensayadas a flexión y la deflexión que se presenta en este ensayo; en ambos casos, realizados de hormigón reforzado con fibras de cabuya al 0,5% en peso del agregado grueso, en comparación con los hechos con hormigón patrón, dado que las fibras de cabuya confieren al hormigón una mejora de las propiedades mecánicas. Dichas fibras fueron cortadas para tener una longitud de 4cm y tratadas con hidróxido de sodio al 6% de concentración.

Se elaboraron 3 cilindros para cada tipología de hormigón y por tiempo de curado, a excepción de cilindros de hormigón patrón para 7 días después del curado, que sólo se elaboraron 2, teniendo un total de 11; los cilindros fueron evaluados pasados de 7 a 28 días de iniciado el curado. Se elaboraron 2 vigas de hormigón patrón, para cada tiempo de curado, en cambio, se elaboraron 3 vigas de hormigón reforzado con fibras para cada edad de curado; las vigas fueron evaluadas a los 7 y 28 días del procedimiento del curado.

Al cabo de 7 días de inicio del curado, los cilindros de hormigón con fibras necesitaron mayor fuerza aplicada para la contracción que los de hormigón patrón, pero, a los 28 días dicha resistencia de los primeros fue menor en comparación con los segundos. A los 7 días de curado, todas las vigas obtuvieron resistencias similares a la flexión, sin embargo, al día 28, las vigas de hormigón reforzado con fibras resistieron mayor a la flexión que aquellas de hormigón patrón.

Se concluyó que el tratamiento de hidróxido de sodio aumentó el tiempo a la ruptura y elongación, también, disminuyó densidad lineal, humedad y tenacidad, así como también aumentó la resistencia a degradarse; además, el hormigón reforzado con fibras obtuvo una menor resistencia en cilindros a la compresión; y una mayor resistencia en vigas a la flexión y una mayor deflexión.

PALABRAS CLAVE: Fibras de cabuya, tratamiento con hidróxido de sodio, resistencia a la compresión, flexión en vigas, hormigón.

ABSTRACT

This study aims to evaluate the resistance of cylinders to compression, as well as the resistance of beams to bending and deflection; in both cases, made of concrete reinforced with cabuya fibers at 0,5% by weight of the coarse aggregate, compared to those made with pattern concrete, given that the cabuya fibers give the concrete improved mechanical properties. These fibers were cut to a length of 4 cm and treated with 6% de concentración sodium hydroxide.

Three cylinders were made for each type of concrete and for curing time, except for pattern concrete cylinders for 7 days after curing, which only 2 were made, having a total of 11; the cylinders were evaluated after starting curing. Two pattern concrete beams were made for each curing time; however, 3 fiber-reinforced concrete beams were made for each curing age; the beams were evaluated 7 and 28 days after the curing procedure.

After 7 days of the start of curing, the concrete cylinders with fibers needed greater applied force for contraction than those of pattern concrete, but after 28 days said resistance of the former was lower compared to the latter. After 7 days of curing, all beams obtained similar flexural strengths; however, on day 28, the fiber-reinforced concrete beams resisted greater flexure than those made of pattern concrete.

It was concluded that the sodium hydroxide treatment increased the time to rupture and elongation, also decreased linear density, humidity and toughness, as well as increased the resistance to degradation; in addition, fiber-reinforced concrete obtained lower compression resistance in cylinders; and greater resistance in beams to both flexure and deflection.

KEYWORDS: Cabuya fibers, sodium hydroxide treatment, compressive strength, bending in beams, concrete.

1. DESCRIPCIÓN DEL COMPONENTE DESARROLLADO

Por hormigón, se entiende como un compuesto que se asemeja a una roca que posee una gran capacidad de resistir a la contracción, sin embargo, carece de fortaleza a la tensión (Vinay et al., 2022), en consecuencia, se producen grietas, incluso cuando al hormigón se le agregue fibra o refuerzo; corriendo el riesgo de una mayor porosidad, debilidad y una menor vida útil, capacidad de carga, integridad estructural y funcionalidad, además que puede representar un peligro para la vida de las personas (Guo et al., 2023). Además, por cada tonelada de cemento producida se emiten al ambiente más o menos 800 mil gramos de dióxido de carbono, que implica un impacto ambiental negativo de manera significativa (Iniya y Nirmalkumar, 2021).

En este sentido, para que el hormigón adquiriera mejoría en las propiedades mecánicas, se le agregan fibras en el momento de la preparación. Dichas fibras pueden ser, como una grapa, a base de hilos de acero corrugados; fibras de vidrio, poliéster, carbono, sisal, polipropileno, entre otros tipos, las cuales permiten que el hormigón sea resistente a la tracción (Medina, 2008). En la actualidad, en el mundo de la ingeniería civil se están buscando e investigando alternativas más económicas que, de igual manera, permitan al hormigón obtener una mejora significativa en sus propiedades mecánicas. Así, por ejemplo, las fibras de carbono son utilizadas para reforzar las vigas de hormigón, porque le brinda una mayor capacidad de resistir la tracción y corrosión, y la ligereza, disminuye el gasto en mano de obra, el tiempo de realización de la construcción; pese a ello, el hormigón reforzado con fibras de carbón no suele ser utilizado como material de elección debido a que puede agrietarse tempranamente en el momento menos esperado, lo que puede acarrear en la caída de la viga (Francklin et al., 2019).

Es por ello que, investigaciones recientes apuntan al reforzamiento de hormigones con fibras naturales, que pueden ser de coco, abacá, sisal, cabuya, entre otros, que se encuentran en Ecuador, debido al contenido de celulosa, hemicelulosa y lignina; dichos hormigones reforzados se caracterizan por ser más sostenibles y más dúctiles, contribuyendo al gremio de la construcción a la mejora económica (Cevallos et al., 2017), además de que permiten que el dióxido de carbono se emita en menores cantidades al ambiente; las fibras de sisal son de las fibras vegetales más resistentes (Ruano et al., 2017).

Sin embargo, con el paso del tiempo, en un medio alcalino y en presencia de hidrógeno mineralizado, las fibras naturales son susceptibles a la degradación, por lo que el hormigón con dichas fibras corre el riesgo de agrietarse debido a la disminución de la robustez y resistencia (Iniya y Nirmalkumar, 2021). Además, debido a la cantidad de

poros que pudieran presentarse las fibras naturales y que se pudieran formar en el hormigón que incluya dichas fibras, poseen la propiedad de una mayor absorción de agua y de compresión posterior (Ruano et al., 2017).

Es por esto que, en investigaciones de hormigón o mortero reforzado, en donde se utilizan fibras de origen vegetal, realizan ciertos tratamientos a dichas fibras, antes de ser incorporados a los compuestos, con el fin de evitar dicha degradación, disminuir la cantidad y velocidad de absorción de agua tanto primaria como secundaria, dependiendo la proporción en la cual se requiera incorporar las fibras; entre los tratamientos más comunes tenemos cubrir fibras vegetales con parafina diluida (Viera et al., 2022), colocación de quitosano al 0,5% (Fuentes et al., 2006), tratamientos con hidróxido de sodio o calcio, carbonato de sodio o calcio, acetato de calcio, glutamato de calcio (Iniya y Nirmalkumar, 2021), acetilación, mercerización (Cyras, 2001), entre otros. Ciertos métodos de tratamientos pueden modificar de manera positiva o negativa los parámetros mecánicos de las fibras naturales, dependiendo de la minuciosidad, además del cuidado con los cuales se los realiza (Cyras, 2001).

La presente investigación busca incorporar las fibras de cabuya, con previo tratamiento químico, al hormigón en distintas proporciones, para posteriormente evaluar la resistencia a la compresión en cilindros y a la flexión en vigas.

1.1. Objetivo General

Evaluar la resistencia a la compresión en cilindros y la resistencia a la flexión en vigas de hormigón reforzado con 0,5% en peso del agregado grueso, de fibras de cabuya tratadas con hidróxido de sodio (NaOH) al 6% de concentración; mediante ensayos de laboratorio.

1.2. Objetivos específicos

- Comparar las fibras sin tratamiento con las fibras tratadas con hidróxido de sodio al 6% de concentración, a través de evaluaciones en el laboratorio de varias muestras de las fibras.
- Evaluar el efecto de la adición de fibras de cabuya al 0,5% del peso del agregado grueso en las propiedades del hormigón, con un enfoque particular en la resistencia a la compresión de los cilindros y la resistencia a la flexión en vigas. Se llevará a cabo una comparación con los parámetros mecánicos de cilindros y vigas elaborados con hormigón patrón como referencia.

- Determinar los parámetros mecánicos de cilindros y vigas de hormigón patrón y hormigón reforzado con fibras evaluados a los 7 y 28 días después del proceso de curado. Se analizarán los hallazgos de las pruebas de laboratorio realizadas en ambos períodos para determinar cualquier diferencia significativa entre los dos tipos de hormigón.
- Analizar la disminución de las grietas en losetas de hormigón reforzadas con el 0,5% en peso del agregado grueso, de fibras de cabuya tratadas químicamente; en comparación con losetas de hormigón patrón.

1.3. Alcance

En base a lo expuesto previamente, se comenzará por una evaluación inicial de las propiedades de la grava y arena, así como el cemento. Se procederá a la obtención de las fibras de cabuya, se las cortará, lavará, secará y tratará mediante la mercerización para evitar la degradación y, de igual manera, se evaluará sus parámetros físicos, tanto para las fibras sin tratar como las fibras tratadas por el método mencionado.

Una vez evaluados los componentes del hormigón, se realiza una mezcla temporal de hormigón patrón, con el afán de elaborar probetas cilíndricas, las mismas que a los 7 días serán evaluadas mediante pruebas de compresión, en caso de no llegar a las resistencias referenciales, se procede a modificar la mezcla y reevaluarla, hasta que la mezcla cumpla con la resistencia referencial a los 7 días posteriores a la elaboración.

Posterior a la elaboración del hormigón patrón, con la proporción definitiva, se incorporarán las fibras de sisal tratadas previamente, para realizar cilindros, vigas y losetas, las mismas que serán evaluadas sus propiedades mecánicas. A través de análisis de laboratorio, se determinará, en cilindros de 10 cm de diámetro por 30 cm de alto su capacidad de tolerar contracción; así como también en vigas de 10 cm x 10 cm x 40 cm, la fuerza aplicada necesaria para que se produzca la doblez y la deflexión, a través de luz libre de 30 cm.

1.4. Marco teórico

1.4.1. Hormigón

El hormigón es una mezcla seca, parecida a una roca, que contiene agua, cemento, y agregados fino y grueso; donde una reacción química es provocada por parte del agua y del cemento. Puede resistir a la contracción, pero es frágil a la tensión, por lo que posee una baja capacidad de carga en los extremos de tensión, por ello tiene una mayor tendencia a formar grietas (Vinay et al., 2022). Para que el cemento y el agua provoquen la reacción química, y sea lo suficientemente manejable para cubrir el acero de las

estructuras o llenar moldes, se necesita una cantidad muy considerable de agua (Winter y Nilson, 1986), un 40% en peso del cemento (Perles, 2005).

Uno de los elementos del hormigón es el cemento, que está constituido de aluminatos tricálcicos, que son los primeros en reaccionar velozmente con el agua, iniciando un procedimiento, que consiste en la conversión del hormigón del estado líquido al estado sólido, como una piedra, que se conoce como fraguado; siendo más rápido cuando elevan tanto la temperatura como la humedad, lo que podría disminuir su trabajabilidad. También se compone de silicatos tricálcicos, que cuando reaccionan, más lentamente, con el agua, inicia el proceso de endurecimiento, el cual, prosigue al fragüe, en donde se adquiere mayor resistencia hasta un mes después; el cemento a su vez se compone de silicatos bicálcicos, los cuales reaccionan con el agua, de forma más lenta aún, para continuar con el endurecimiento hasta años después. Así mismo, el cemento puede contener yeso al 3% para aumentar su trabajabilidad y así, poder retardar el fraguado. El cemento proviene de una cocción de rocas calcáreas de más de 22% de arcilla, a 1350 °C, formándose el Clinker; el mismo que adquiere su propiedad aglomerante gracias a su pulverización (Perles, 2005).

Según la NTE INEN 152:2012 *Cemento Portland. Requisitos* (2012). Existe una clasificación del cemento portland, de la siguiente manera:

- **Tipo I:** Cemento que no necesita propiedades específicas para ningún otro tipo.
- **Tipo IA:** Cemento que posee las mismas ocupaciones del tipo I, pero, con incorporador de aire.
- **Tipo II:** Con una considerable tolerancia a sulfatos, de utilización universal.
- **Tipo IIA:** De tipo II, con colocador de aire.
- **Tipo II(MH):** Caracterizado por su vigor moderado frente a sulfatos, además de proporcionar un poder calorífico moderado provocado en la hidratación. De uso universal.
- **Tipo II(MH)A:** Cemento tipo II(MH) con incorporación de aire.
- **Tipo III:** Cementos para adquirir una precoz y elevada tolerancia.
- **Tipo IIIA:** De tipo III, con colocador de aire.
- **Tipo IV:** De menor poder calorífico producido mediante hidratación.
- **Tipo V:** De capacidad elevada para aguantar sulfatos.

Dicha norma INEN también menciona que el cemento portland contiene sulfato de calcio agua, o ambos de ellos; clinker del cemento portland, caliza. El cemento debe satisfacer con lo establecido en la norma.

Los agregados o áridos son componentes que colaboran en la tolerancia mecánica del hormigón. Además de la resistencia mecánica y la proporción de incorporación en el hormigón, los agregados deben poseer otras propiedades como estar libre de impurezas que pueden arruinar su unión con la pasta cementicia, que eviten malas reacciones químicas con el cemento y alta durabilidad. Los agregados pueden ser finos o arenas, y gruesos o gravas. Los áridos finos son aquellas partículas que atraviesan un tamiz N° 4, caso contrario, son los áridos gruesos (Winter y Nilson, 1986). La arena puede ser natural, elaborada o combinadas. El agregado fino debe pasar el 100% del contenido por el tamiz de 9,5 mm de abertura, del 95 al 100% por uno de 4,75 mm, del 80 al 100% por el de 2,36 mm, del 50 al 85% por el tamiz de 1,18 mm, del 25 al 60% por uno de 0,6 mm, del 5 al 30% por uno de 0,3 mm, y máximo el 10% por uno de 0,15 mm; o a su vez el porcentaje máximo que debe atravesar un tamiz y retenerse en el sucesivo, como acaba de indicarse, es de 45%. En cambio, el agregado grueso debe ser piedra triturada, hormigón de cemento hidráulico fragmentado, grava, escoria de altos hornos enfriada en el ambiente, grava molida, o combinados. Para que dicho agregado grueso cumpla con los requisitos, se debe cumplir con una gradación establecida, cantidades máximas de sustancias perjudiciales, además de que se debe realizar pruebas previas para su aceptación o rechazo; en el caso que el hormigón esté destinado a exponerse a alta humedad, es necesario que el agregado grueso carezca de componentes que, con el pH básico del cemento, pueda causar una reacción, que podría causar al mortero u hormigón una gran expansión (NTE INEN 872 *Áridos para hormigón. Requisitos*, 2011).

El agua es uno de los componentes del hormigón, de la cual, depende el tiempo que se demora el fragüe y el endurecimiento; ya sea cuando se haya agotado toda en el hormigón o cuando se haya hidratado cada partícula de todo el cemento. El agua debe ocupar el 40% en peso del cemento, del cual, el 25% va destinado para las reacciones químicas con el cemento, y el 15% restante para la hidratación, sin embargo, de manera general, el agua constituye más del 40%, para una mayor trabajabilidad del hormigón. La contracción de endurecimiento es una reducción del volumen del gel cementicio, producto de la evaporación del agua que no reacciona con el cemento; cuando el hormigón no ha obtenido una resistencia considerable y se da durante las fases tempranas, dicha contracción puede producir grietas notables. Es por ello la importancia de la humedad en el hormigón, para restablecer la contracción del fraguado; así como el curado, que consiste en el mantenimiento de la humedad de la pasta del cemento; que se debe realizar, durante el primer día, en horas muy soleadas; en los siguientes 6 días, en la mañana y en horas del atardecer u horas cerca de él; y nueve días posteriores al día sexto, solamente en horas matutinas. Se desaconseja utilizar agua helada, pues

puede producir fisuras superficiales debido al calor de hidratación dentro de la estructura (Perles, 2005). El agua tiene que ser potable, y debe cumplir con lo establecido en la NTE INEN 1108, *Agua Potable. Requisitos* (2014).

Los objetivos en cuanto a la dosificación del hormigón son: una buena resistencia, manejabilidad y un presupuesto bajo. Es necesaria una buena granulación de los agregados para que los poros tengan el menor volumen posible, y así, se pueda rellenar con la menor cantidad de pasta cementicia posible. La cantidad de agua debe cubrir el remojo de la superficie de los agregados, la hidratación del hormigón y para que éste sea manejable. La relación agua-cemento es una causal fundamental de la fortaleza del hormigón. Cada vez que se agrega el agua, el compuesto es más manejable, fluido y de mayor plasticidad, sin embargo, se vuelve menos resistente, debido a que los poros aumentan su volumen a causa del agua libre. Si se desea aumentar su resistencia, manteniendo la manejabilidad, se disminuye el agua libre aumentando cemento. Se debe escoger el número de kilos de cemento por cada m³ de hormigón, que permita que éste sea manejable; para una dosificación correcta, sobre todo para la relación cemento/agua. Se pueden realizar ensayos de diferentes mezclas, mediante una relación cemento-agua determinada, y realizando varias masas con diferentes cantidades de agregados, con el objetivo de encontrar una consistencia y otras propiedades, con la menor cantidad posible de pasta cementicia, mediante el ensayo de asentamiento; para ello, se debe llenar un molde metálico de cono, que sea truncado, de 30 cm de altura, de una manera específica, con hormigón, se lo levanta, para medir la diferencia entre la altura de dicho cono y la altura de la pila de hormigón, que puede ser de 5 a 15 cm, y que mide también la cantidad de agua. El método de dosificación ACI, usa el ensayo de asentamiento, con unas tablas; las cuales guían la elección de una dosificación que permita obtener las propiedades adecuadas, dependiendo las condiciones; dichas dosificaciones se comprueban mediante amasadas, modificando la dosificación, hasta obtener un hormigón de una calidad adecuada (Winter y Nilson, 1986). Una vez completado el fraguado, el hormigón necesita una exposición prolongada al agua, conocida como curado, cuya duración podría darse por lo menos 28 días, porque a ese día llega al 90% de su resistencia máxima, y el 100% a los 56 días (Lamus y Andrade, 2015).

Los aditivos, son materiales adicionales para funciones específicas. Algunos dan color al hormigón, otros mejoran la durabilidad, hay unos que aumentan o disminuyen la velocidad del fragüe y endurecimiento, mejoran la durabilidad o manejabilidad, ayudan al curado, entre otras mejoras. Un ejemplo son los que colocan aire en la mezcla, para aumentar la durabilidad y manejabilidad (Winter y Nilson, 1986).

1.4.1.1. Hormigón reforzado con fibras

En épocas antiguas, varias culturas comenzaron a utilizar como refuerzo paja, que brinda una menor posibilidad de formar grietas en construcciones a base de arcilla. En la edad moderna, se comenzó a usar fibras de asbesto, de origen mineral, para reforzar cemento. Pero, al darse cuenta de que la exposición laboral prolongada a dicho material, implicaba riesgos para la salud, como la enfermedad de abestosis; se redujo su uso y se sustituyó por otros tipos de fibras (Ordoñez et al., 2019). En este sentido, por abestosis se entiende como una enfermedad que se caracteriza por una difusión de material fibroso entre las células pulmonares, como consecuencia de la inhalación constante de asbesto a largo plazo. Esta enfermedad incrementa el riesgo de cáncer (Copley, 2006).

Los hormigones reforzados con fibras poseen propiedades mecánicas mejoradas, como una mejor capacidad de resistir la flexión, el impacto, la tracción o la fatiga. Generalmente, se ocupa acero, ya sea en grapas, barras o fibras, fibras de vidrio, Kevlar, carbono, poliéster, polipropileno, cabuya, entre otros tipos de fibras. Las fibras se los colocan en una cantidad seleccionada y se los mezclan. Las fibras más empleadas son las de acero (Medina, 2008).

1.4.1.2. Propiedades mecánicas del hormigón

La resistencia a la compresión, es el esfuerzo máximo promedio que puede tolerar el hormigón previamente a la rotura. Es el parámetro del hormigón más importante a considerar (Lamus y Andrade, 2015). Según la norma ACI 318-14 (2014), dicha propiedad mecánica del hormigón no tiene que ser menos de 17 Mega Pascales (MPa).

Una viga se define como especímenes largos y rectos, capaces de sostener fuerzas aplicadas, de forma perpendicular a sus ejes longitudinales. Forman parte importante de las estructuras como edificios, aviones, autos entre otras (Hibbeler, 2006). La flexión es una de las propiedades más importantes de las vigas, la cual, se relaciona con los momentos flectores, produciendo fuerza de compresión en un lado y tracción en el lado opuesto (Salazar, 2007).

La resistencia a la flexión es el cociente entre el momento flexionante, ocasionada por la carga aplicada máxima y el momento de resistencia de la viga y se calcula de la siguiente manera (Caballero et al., 2010):

$$R_f = \frac{M}{W}$$

Ecuación 1: Resistencia a la flexión en las vigas

Donde:

- Rf= Resistencia a la flexión [MPa]
- M= Momento flexionante [N.mm]
- W= Momento de resistencia [N.mm]

Una viga puede quedar curva como consecuencia de cargas aplicadas que provoquen flexión, perpendicularmente al eje, como consecuencia, se produce una deformación. La deflexión es el factor crítico de la deformación de una viga (Mott, 2006).

1.4.2. Fibras naturales

Un método alternativo de reforzamiento del hormigón, frente a fibras sintéticas, son unas fibras provenientes de las plantas, conocidas como fibras naturales; que son biodegradables, ligeras, renovables, económicas, amigables con el medio ambiente debido a la reducida liberación del dióxido de carbono, de bajo consumo energético; resistentes a la compresión, tracción y flexión; buenos aislantes tanto del sonido como de la temperatura; y mejoran la ductilidad y tenacidad; lo que constituye una fuente de ingreso para las áreas rurales (Ruano et al., 2017); además, son más flexibles, poseen mayor elasticidad y pueden extenderse (Iniya y Normalkumar, 2021). Sin embargo, poseen una mayor tendencia a la absorción de agua, y para que las propiedades mecánicas sean las óptimas, se debe realizar de la mejor manera los procesos de extracción y procesamiento, así como las condiciones de producción; además de que son susceptibles a la degradación en cementos de pH básico. Transversalmente, las fibras se presentan a modo de celdas, con un centro vacío y unidas por hemicelulosa y lignina (Ruano et al., 2017). Las plantas más utilizadas en la extracción de fibras naturales para dicho fin son: coco, plátano, kenaf, yute (Iniya y Normalkumar, 2021), sisal o cabuya (Ordoñez et al., 2019), entre otras.

1.4.3. Cabuya

La cabuya azul (*Agave*) es una planta similar a la cabuya blanca (*Furcraea andina* Trel.), que pertenecen a una misma familia (Criollo et al., 2011). En general, las cabuyas se caracterizan por su esperanza de vida de 7 a 14 años, y que las plantas terminan con su ciclo vital una vez que sus flores se hayan formado; siendo un vegetal de un sólo cotiledón, que forma parte de la familia *Agavaceae* (Carrera et al., 2005).

Posee un tallo de corta longitud y de ubicación central, sin ramas, envuelto por varias hojas de fillos puntiagudos, que en su conjunto forman una roseta en la punta del tallo (Aguirre et al., 2023). Es un reservorio de nutrientes y de agua, cuyo centro es parenquimatoso, con dos porciones mal definidas: el cilindro central y la corteza (León, 1968).

La raíz es somera, fibrosa y fasciculada, que puede sobrepasar los 3 m. Sus brotes adventicios que pueden originarse provienen de los rizomas que nacen de la roseta en general y de las yemas soterranas en particular, y miden entre 5 a 15 cm (Carrera et al., 2005).

Las flores se presentan en un tallo cilíndrico que se origina en el medio del nacimiento de cortas hojas que ocurre cuando la planta llega a ser madura, dicho tallo es un cilindro que puede llegar a una altura máxima de 6 metros, con entrenudos largos, con hojas de forma triangular y de pequeño tamaño, y su ápice es puntiagudo. Las ramas de dicho tallo contienen ramas más pequeñas, que son muy divididas, donde se originan las flores, cuyo perianto es de un color verdoso o amarillento, los estambres son 6 y están sobresalidos de la corola, cuyos filamentos se producen en el exterior de la flor; el pistilo posee el ovario sobre el cáliz; las flores se polinizan de manera cruzada y normal, de manera entomófila o anemófila. Cuando se abre, la flor normalmente cae, debido a una porción activa de separación, que se ubica en el pedicelo; es por ello que muy raramente pueden desarrollarse los frutos, que son cápsulas que contienen 3 celdas, que contienen sus semillas que son negras y planas (León, 1968).

Los bulbillos son unas plantitas que provienen de la panícula, naciendo de las yemas del nacimiento de las flores, después de que las mismas caen. Poseen unas raíces adventicias minúsculas y aproximadamente de 6 a 8 hojas. Una vez en el suelo, las plantitas pueden nacer de dichos bulbillos (Carrera et al., 2005)

Las hojas están distribuidas en muchas espirales, lo que les permite captar tanto la luz como el agua, son verde claras o verde azules, son de forma lanceoladas. Transversalmente, es triangular en la base y en el trayecto, se va haciendo cada vez más delgada y más ancha. El haz de la hoja es un poco cóncavo y el envés posee los bordes elevados y es convexo. Tanto el haz como el envés de la hoja posee una epidermis cubierta por células de paredes celulares de un gran grosor. Los estomas poseen una gran profundidad y se encuentran en gran cantidad (León, 1968). Las puntas son de pequeño tamaño y la espina es delicada (Aguirre et al., 2023).

Las fibras mecánicas poseen celulosa, hemicelulosa, pectinas y lignina (Cyras, 2001). Dichas fibras, que constituyen la mayoría de las fibras de la hoja, son largas, que pueden llegar a medir de largo hasta 2 metros, y se componen de células largas y delgadas, cuya pared celular es muy gruesa, estas son las de mayor resistencia y las que poseen mayor valor comercial (León, 1968), dicha resistencia se debe a una mayor cantidad de celulosa en las fibras y por su disposición estructural (Ruano et al., 2017), por lo que en la antigüedad han sido utilizados en la elaboración de sogas y sacos; sin embargo,

debido a que el uso de las fibras sintéticas en la realización de dichos productos como el polipropileno ha ido creciendo por su ligereza y ser más económico, la cabuya ha ido perdiendo mercado para dicho uso, por lo que en la actualidad se busca dar otros usos, como en la fabricación de papeles delgados, como refuerzo de hormigón, de cemento o mortero (Sierra et al., 2015; Cevallos et al., 2017).

En cambio, existen unas fibras esclerenquimatosas, unas que acompañan al xilema a lo largo de toda la hoja, que son más pequeñas y frágiles, y otras al floema, un poco más resistentes que las primeras, pero no tanto como las fibras mecánicas (León, 1968).

Las civilizaciones antiguas ecuatorianas, les daban uso a todas las partes de la cabuya, para la fabricación de sogas, bolsas, sacos, calzado, refuerzo de construcciones, jabones, shampoos, fertilizantes, límites orgánicos, leña, entre otros; en aquel entonces, la zona centro del país se caracteriza por la alta presencia de cabuyales y en paisajes secos (Aguirre et al., 2023).

1.4.4. Tratamientos químicos que se le aplican a las fibras naturales

Existen diferentes métodos de tratamientos químicos, que se le realizan a las fibras naturales, con algunos fines como evitar la degradación, proporcionar propiedades impermeables, de rigidez, aumento de resistencia a la tensión, protección contra el medio alcalino del cemento, una mejor adherencia a la pasta de cemento, entre otros; estos métodos resultan ser más eficientes que el tratamiento físico con plasma a descarga de barrera dieléctrica. El fundamento de los tratamientos químicos, se basa en la activación de los grupos hidroxilo (OH) a través de una modificación de la superficie de las fibras, o reemplazar dichos OH por grupos funcionales diferentes. Dichos tratamientos químicos pueden ser de benzoilación, con silano, de acetilación (Rodríguez et al., 2015), parafina (Juárez et al., 2004), con polimetilmetacrilato (PMMA), NaOH más ácido acético (Paricaguán et al., 2013).

La acetilación consiste en una reacción de los grupos acetilo con los grupos OH, con ello se modifican la superficie de las fibras, removiéndose tanto la lignina como la hemicelulosa, aumentándose así la proporción de la celulosa, como consecuencia, las fibras quedan plastificadas, obteniendo propiedades hidrofóbicas, y llegando a ser más dimensionalmente estables. Se ha demostrado que las fibras de seudotallo del plátano tratadas químicamente con anhídrido acético, epiclorhidina y la combinación de ambos, más acetona en los tres casos, adquirieron mejores propiedades impermeables, mayor proporción de celulosa, mayor rigidez y tenacidad, mayores ángulos de contacto que las fibras sin tratamiento y las tratadas con plasma (Rodríguez et al., 2015).

La acetilación también puede ocurrir con la reacción de las fibras con el NaOH, y a continuación dichas fibras pasan por una solución de ácido acético; adquiriendo resultados similares a las fibras tratadas con acetona. Si adicional a ello, se les trata a las fibras con PMMA, las fibras logran ser resistentes al álcalis del cemento y a la humedad, aunque, de la cantidad de fibras en volumen y su distribución, edad del curado, entre otros factores, depende la resistencia a la compresión (Paricaguán et al., 2013)

Para un tratamiento superficial de las fibras, se impregnaron fibras de cabuya con parafina, demostrando que adquieren su propiedad hidrófoba, mayor resistencia al álcalis del cemento; además de proporcionar una mejor resistencia a la flexión al hormigón (Juárez et al., 2004)

2. METODOLOGÍA

2.1. Tipo de Investigación

La presente investigación es experimental, porque se realizará una comparación cuantitativa de la resistencia a la compresión de cilindros a base de hormigón patrón con la de cilindros de hormigón con fibras de cabuya al 0,5% en peso del agregado grueso, previamente tratadas químicamente con hidróxido de sodio al 6% de concentración; después de mantener en curado por 7 y 28 días; así como la resistencia a la flexión y la deflexión de vigas de hormigón patrón con los parámetros de vigas de hormigón con fibras al 0,5%; tratadas con el NaOH al 6% de concentración.

2.2. Lugar de realización

Los ensayos de laboratorio se realizaron en la ciudad de Quito, en la Escuela Politécnica Nacional. Los análisis de las fibras fueron hechos en la Facultad de Ingeniería Química y Agroindustrial, en el Laboratorio de Textiles, mientras que, las pruebas de materiales, cilindros y vigas fueron realizadas en la Facultad de Ingeniería Civil y Ambiental, en el Laboratorio de Ensayos de Materiales, Mecánica de Suelos y Rocas.

2.3. Obtención de materiales

2.3.1. Agregados

El agregado fino, en primera instancia, se consiguieron en una caldera en Pifo. Debido a la gran cantidad de impurezas halladas posteriormente a una evaluación de contenido orgánico, se lo rechazó y se adquirió otro en la cantera de agregados de Holcim. La grava fue conseguida en la caldera primeramente mencionada.

El árido grueso es la piedra triturada, cuya gradación máxima es de 9,5 mm. El árido fino inicial era la Arena de río, mientras que la arena final es Arena Azul Rocafuerte.

2.3.2. Cemento

Se utilizó un cemento portland de Holcim, de tipo GU, el cual es como lo establecido en la norma NTE INEN 2380:2011, para uso general, prometiéndole mayor trabajabilidad, mayor resistencia a la fisuración y menor poder calórico generado en la hidratación, segregación y exudación, además de ser amigable con el medio ambiente (HOLCIM, 2022).

2.3.3. Fibras de cabuya

Las fibras de cabuya fueron adquiridas en el mercado San Roque, se obtuvieron 3 atados, cada uno de 1,5 kg en promedio, una suficiente cantidad para ensayar las fibras y colocarlas en cilindros y vigas.

Figura 1: Obtención de las fibras de cabuya en el mercado San Roque



2.4. Tratamiento de materiales y sus pruebas de laboratorio

2.4.1. Agregados

Las muestras de los agregados se tomaron como indica la Norma NTE INEN 695 *Áridos. Muestreo* (2010), con el objetivo de evaluar si debe ser aceptado o no para incorporarlo a la preparación del hormigón. El tamaño máximo granulométrico se lo realizó conforme a la NTE INEN 872 (2011).

2.4.1.1. Agregado grueso

Figura 2: Agregado grueso



- **Análisis granulométrico**

Esta prueba se ha realizado tomando en cuenta las normas ASTM C136 y ASTM C33, cuyo proceso fue de la siguiente manera:

- Pesar la muestra del árido grueso, hasta una masa máxima indicada en la norma ASTM C136.
- Por 24 horas, secar en el horno a 110 °C la muestra, para sacar toda la humedad de dicha muestra y pesar nuevamente.
- Colocar 6 tamices, de arriba hacia abajo en el siguiente orden: $\frac{3}{4}$ in, $\frac{1}{2}$ in, $\frac{3}{8}$ in, N°4, N°8 y N°16.
- Colocar la muestra en el tamiz prominente y comenzar a tamizar con una máquina tamizadora, por 15 minutos.

Figura 3: Máquina tamizadora



- Pesar cada contenido que ha quedado en cada uno de los tamices.

A continuación, se calcula los porcentajes de cada contenido que ha quedado en los tamices, aplicando la siguiente fórmula:

$$\% \text{ masa retenida en un tamiz} = \frac{\text{Masa retenida en un tamiz} \times 100}{\text{Masa total de la muestra}}$$

Ecuación 2: Porcentaje de contenido retenido en los tamices

Donde:

- Masa retenida en un tamiz [g]
- Masa total de la muestra [g]

Posteriormente, calcular el módulo de finura, de la siguiente manera:

$$\text{Módulo de finura} = \frac{\sum \% \text{ acumulativos retenidos}}{100}$$

Ecuación 3: Módulo de finura

Para que la prueba sea válida, la pérdida de la muestra en total no debe superar el 0,3% de la muestra inicial en seco.

- **Densidad relativa y absorción**

La masa de un árido en una masa de agua, cuyo volumen que ocupa es el mismo que el volumen que ocupa las partículas de dicho agregado (volumen absoluto); es conocida como gravedad específica o densidad relativa. Si dicha densidad es del agregado seco al horno, que excluye espacios vacíos entre las partículas; y en relación a la del agua destinada a una temperatura dada, se conoce como densidad relativa seca. La densidad relativa SSS es un cociente entre la densidad de un árido saturado de agua con superficie seca, que, de igual manera, excluye los espacios vacíos entre sus partículas; y la densidad del agua destilada a una definida temperatura. La densidad relativa aparente es el cociente entre la densidad aparente del agregado, y la del agua destilada a una cierta temperatura. Con dichas densidades, se calcula el volumen que ocupa en el hormigón, en diferentes condiciones de humedad, como corresponde. Por su parte, la densidad relativa permite también determinar los vacíos entre las partículas del árido. En cambio, la absorción permite determinar variaciones de la masa de un agregado cuyos poros de sus partículas han absorbido agua, en comparación del mismo agregado cuando está seco (NTE INEN 857. *Áridos. Determinación de la densidad, densidad relativa (gravedad específica) y absorción del árido grueso*, 2010).

Estos ensayos se llevaron a cabo tomando en cuenta las normas ASTM C127, y la NTE INEN 857, siguiendo el siguiente proceso:

- Dividir la muestra con el tamaño nominal máximo, hasta lograr tener la masa mínima que indica la Norma INEN 857.
- Lavar la muestra hasta que el agua quede blanquita. A continuación, colocar la muestra bajo el agua por 24 horas, para saturarla.
- Sacar del agua la muestra y secar la superficie con una toalla, hasta que dicha superficie pierda toda la humedad.

Figura 4: Agregado grueso en estado SSS



- Pesar la muestra y calcular la masa aparente del agua a 23°C.
- Secar al horno la muestra a 110°C por 24 horas.
- Sacar dicha muestra del horno, posteriormente, dejarla enfriar y pesar dicha muestra.

Determinar las densidades realizadas y absorción, aplicando las siguientes fórmulas:

$$\text{Densidad relativa seca} = \frac{997,5 \times X}{Y - Z} \left(\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right)$$

Ecuación 4: Densidad relativa seca al horno del agregado grueso

$$\text{Densidad relativa SSS} = \frac{997,5 \times Y}{Y - Z} \left(\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right)$$

Ecuación 5: Densidad relativa SSS del agregado grueso

$$\text{Densidad relativa aparente} = \frac{997,5 \times X}{X - Z} \left(\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right)$$

Ecuación 6: Densidad relativa aparente del agregado grueso

$$\text{Absorción} = \frac{Y - X}{X} * 100 \left(\frac{kg}{m^3} \right)$$

Ecuación 7: Absorción del agregado grueso

Donde:

X: Muestra que se ha secado en el horno. [g]

Y: Muestra en estado saturado, superficialmente seco (SSS). [g]

Z: Muestra aparente en agua. [g]

- **Densidad aparente suelta y densidad aparente compactada**

Se la conoce a la densidad aparente o peso volumétrico, mal llamada masa unitaria, como la masa total de un agregado, en un volumen que llena dicho agregado, incluyendo el volumen de los poros de cada partícula, así como también el que ocupan los vacíos entre las partículas (NTE INEN 858. *Áridos. Determinación de la masa unitaria (peso volumétrico) y el porcentaje de vacíos*, 2010).

Para dicho fin, se ha determinado estos dos parámetros, como indican las normas ASTM C29 y NTE INEN 858, de la siguiente manera:

- Pesarse el recipiente y hallar su volumen
- Tomar una muestra de 4/3 a 6/3, equivalente al volumen determinado para el recipiente y secar al horno a 110 °C. Posteriormente, sacarla y dejar enfriar.

a) Densidad aparente suelta

- Colocar el agregado por paladas, desde una altura menor a los 5 cm, con el fin de que el agregado evite compactarse.
- Enrasar el agregado en el recipiente, con una varilla, para que quede nivelado.

Figura 5: Enrasado del agregado grueso



b) Densidad aparente compactada

- Llenar 1/3 del molde con una pala, realizar el varillado uniforme 25 veces, rellenar el segundo tercio del molde con la pala, y varillar de nuevo 25 veces, y rellenar el tercer tercio con la pala y varillar otras 25 veces. De esta manera, quedan 3 capas de agregado grueso varilladas uniformemente.

Figura 6: Varillado del agregado grueso



- Llenar los espacios vacíos que quedaron debajo del borde del molde, enrasando con una regleta de excesos.
- Pesar el molde con el árido.

Para hallar la densidad del árido, ya sea suelto o compactado, se aplica la siguiente fórmula:

$$Densidad = \frac{M2 - M1}{V} \left(\frac{kg}{m^3} \right)$$

Ecuación 8: Densidad suelta o compactada de los agregados

Donde:

M1= Masa del recipiente sin contenido. [Kg]

M2= Masa del recipiente con el agregado. [Kg]

V= Volumen de recipiente. [m³]

- **Abrasión**

Es un parámetro que nos permite hallar la resistencia a la degradación del árido grueso, de granulometría estandarizada. Para ello, se utilizan unas esferas abrasivas y se las expone a las revoluciones de la Máquina de los Ángeles (ASTM C131).

Este ensayo se llevó a cabo de acuerdo a la norma ASTM C131, cuyo proceso es el siguiente:

- Seleccionar la gradación en base al contenido retenido en los tamices de acuerdo a la siguiente tabla, tamizar hasta cubrir las masas requeridas; para retirar las partículas finas del árido.

Tabla 1: Clasificación de las muestras obtenidas

Tamaño de las aberturas cuadradas del tamiz		Masa de los tamaños dados [g]			
Pasado por	Retenido en	Gradación			
		A	B	C	D
37,5 mm (1 1/2")	25,0 mm (1")	1.250 ± 25			
25,0 mm (1")	19,0 mm (3/4")	1.250 ± 25			
19,0 mm (3/4")	12,5 mm (1/2")	1.250 ± 10	2.500 ± 10		
12,5 mm (1/2")	9,5 mm (3/8")	1.250 ± 10	2.500 ± 10		
9,5 mm (3/8")	6,3 mm (1/4")			2.500 ± 10	
6,3 mm (1/4")	4,75 mm (N°4)			2.500 ± 10	
4,75 mm (N°4)	2,36 mm (N° 8)				5000 ± 10
Total		5000 ± 10	5000 ± 10	5000 ± 10	5000 ± 10

Fuente: ASTM C131

- Una vez obtenidos los resultados, se selecciona el número de esferas, partiendo de la Tabla 2.

Tabla 2: Carga Abrasiva, según la gradación

Gradación	Número de esferas	Masa de la carga [g]
A	12	5.000 ± 25
B	11	4.584 ± 25
C	8	3.330 ± 20
D	6	2.500 ± 15

Fuente: ASTM C131

Figura 7: Esferas para el ensayo de abrasión



- Colocar tanto las esferas como la muestra dentro de la Máquina de los Ángeles.
- De 500 vueltas que tiene que dar, realizar 100 vueltas a 30 - 33 revoluciones por minuto, para determinar el coeficiente de uniformidad.
- Determinar la masa del contenido retenido en el tamiz N°12 y volver a situar en dicha máquina.
- Hacer que el cilindro rote las 400 veces que le faltan.
- Pesar la masa retenida en el mencionado tamiz.

Figura 8: Ensayo de abrasión del agregado grueso



Para determinar la abrasión, que se expresa en porcentaje y el coeficiente de uniformidad, se aplica las siguientes fórmulas, según corresponda:

$$\text{Abrasión} = \frac{M_0 - M_{500}}{M_0} (\%)$$

Ecuación 9: Abrasión del agregado grueso

$$CU = \frac{M_0 - M_{100}}{M_0 - M_{500}}$$

Ecuación 10: Coeficiente de uniformidad del agregado grueso

Donde:

M0= Masa inicial. [g]

M100= Masa a las 100 revoluciones. [g]

M500= Masa a las 500 revoluciones. [g]

CU= Coeficiente de uniformidad.

- **Partículas menores al Tamiz No. 200**

A través de un lavado con agua, este ensayo deja conocer la cantidad de partículas del árido, que pasa por el tamiz N°200 y que miden 75 µm (ASTM C117, 2019). Este ensayo fue realizado conforme a la norma ASTM C117; en la que se indican dos procedimientos, de los cuales se ejecutó el procedimiento A, el cual consiste en el lavado sólo con agua, en lugar del B, que se lo realiza únicamente en el caso que se requiera, y consiste en el lavado con algún agente hidratante. Dicho procedimiento A se lo realizó de la siguiente manera:

- Poner la muestra del agregado en el horno para secar a 110 ± 5 °C, por 24 horas.
- Determinar la masa seca inicial de la muestra.
- Poner en el recipiente la muestra y cubrirla de agua potable simple.
- Agitar la muestra con agua para dividir las partículas más finas que 75 µm o el tamiz N° 200, de las más grandes, precipitando así las partículas finas.
- Colocar el agua con el contenido suspendido en los tamices apilados que ameriten, de forma descendente en aberturas cuadradas desde arriba hacia abajo; evitando que las partículas más grandes se separen por decantación.
- Cubrir dicha muestra, nuevamente con agua, y colocar en los tamices como se indicó en el punto anterior. Repetir este proceso hasta que el agua quede clara.
- Lavar los tamices a la muestra lavada, devolviendo así, el contenido retenido en los tamices.
- Secar la muestra a 110 ± 5 °C por 24 horas, dejar enfriar y pesar.

Los cálculos para determinar la masa que ha pasado por el tamiz N°200 por el lavado, se realizaron a través de la siguiente fórmula:

$$\text{Partículas menores que } 75 \mu\text{m (tamiz N}^\circ 200) = \frac{(A - B)}{A} \times 100 [\%]$$

Ecuación 11: Partículas menores que 75 µm (tamiz N°200) de los agregados

Donde:

A: Masa seca inicial [g].

B: Masa seca final, posterior al lavado de la muestra [g].

- **Resultados de los ensayos realizados para el agregado grueso**

Los resultados del análisis granulométrico se encuentran detallados en la Tabla 3, mientras que la Figura 9 presenta la curva granulométrica correspondiente.

Tabla 3: Análisis granulométrico del agregado grueso

Abertura de Tamiz [mm]	N° Tamiz	Porcentaje Pasado [%]
19,00	3/4"	100,0
12,50	1/2"	99,4
9,50	3/8"	94,2
4,75	N° 4	41,4
2,36	N° 8	5,0
1,18	N° 16	1,8
-	Bandeja	0,0
Módulo de finura		5,6

Fuente: Laboratorio de Ensayos de Materiales, Mecánica de Suelos y Rocas, Escuela Politécnica Nacional, 2023.

Elaborado por: Nayeli Lluay

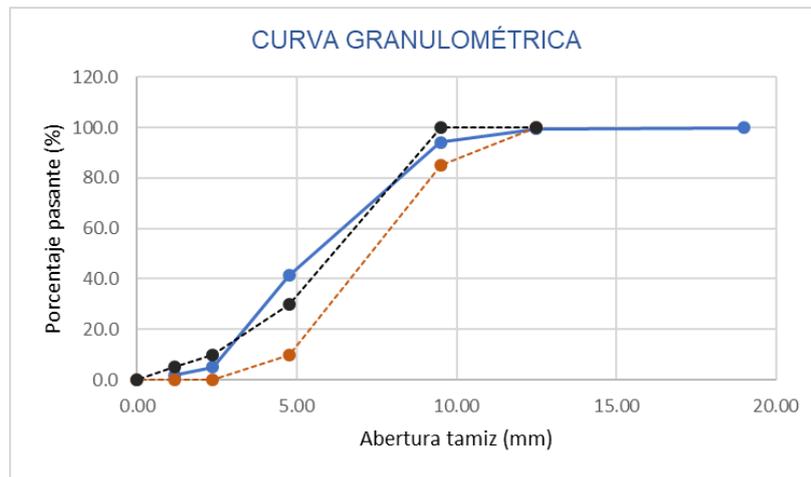


Figura 9: Curva granulométrica del agregado grueso

Elaborado por: Nayeli Lluay

A continuación, se señalarán los resultados de los demás parámetros del agregado grueso en la Tabla 4.

Tabla 4: Resultados de la caracterización del agregado grueso

Parámetro	Unidad	Resultado
Densidad relativa (SSS)	g/cm ³	2,56
Absorción	%	4,36
Densidad suelta	kg/m ³	1380
Contenido de vacíos de muestra suelta	%	44
Densidad compactada	kg/m ³	1450
Contenido de vacíos de muestra compactada	%	41
Tamaño máximo nominal (abrasión)	In	3/8
Gradación	-	C
Número de esferas	-	8
Masa inicial pre-abrasión	G	5013
Masa retenida en el tamiz N° 12 después de 100 revoluciones	G	4483
Masa retenida en el tamiz N° 12 después de 500 revoluciones	G	2871
Pérdida por abrasión e impacto después de 100 revoluciones	%	11
Pérdida por abrasión e impacto después de 500 revoluciones	%	43

Coeficiente de uniformidad	-	0,26
Tamaño máximo nominal (prelavado y tamizado por el tamiz N° 200)	Mm	9,5
Masa mínima necesaria	G	1000,00
Masa inicial seca	G	1158,00
Masa final seca	G	1148,60
Material presente por el tamiz N° 200	%	0,8

2.4.1.2. Agregado fino

- **Análisis Granulométrico**

El procedimiento es el mismo que para el ensayo de granulometría en el árido grueso.

- **Densidad relativa y absorción**

Los ensayos se llevaron a cabo, siguiendo las normas ASTM C128 y NTE INEN 856, *Áridos. Determinación de la densidad, densidad relativa (Gravedad específica) y absorción del árido fino* (2010). El procedimiento se realizó de la siguiente manera:

- Dividir la muestra total hasta obtener aproximadamente un kilogramo, y poner completamente dentro del agua por 24 horas, con el afán de conseguir la saturación de dicho agregado.
- Arrojar el agua, cuidando de perder partículas finas de la muestra, la misma que se coloca en el horno a 110 °C, mecer la muestra con constancia hasta obtener el estado SSS.

Figura 10: Preparación del agregado fino al estado SSS



- Para determinar la presencia de humedad, a medida que el agua se siga evaporando, en la superficie impermeable, poner un cono, con el hoyo más pequeño para arriba, llenar de arena, pasando el límite; con un compactador y desde una altura máxima de 5 milímetros, golpear 25 veces, dejándolo caer. Limpiar el cono y levantarlo en sentido vertical, sin moverlo. La arena se encuentra en SSS si se desborda un poco; si mantiene la forma del cono, la arena todavía posee humedad; si su caída es total, la arena está muy seca.
- Determinar la masa del picnómetro sin contenido en absoluto.
- Llenar hasta la línea de calibración con agua a 23 °C.
- Pesar el picnómetro con el agua.
- Vaciar el picnómetro, y colocar 500 ± 10 gramos de muestra en estado SSS en él, colocar el agua a 23 ± 2 °C, de tal manera que cubra la muestra, pero no se pase del cuello del picnómetro, y agitar de manera manual.
- En la medida de lo posible, eliminar todo el aire y colocar hasta la marca de calibración el agua. Pesar todo en conjunto.
- Sacar del picnómetro la muestra, y colocarla en un recipiente, para secar en el horno a 110 ± 5 °C por 24 horas; sacar, dejar que la muestra se enfríe y pesarla.

Tanto la densidad SSS como la absorción se calcularon a través de las ecuaciones que se muestran a continuación, según corresponda:

$$\text{Densidad Relativa SSS} = \frac{997,5 * S}{(B + S - C)} \left(\frac{kg}{m^3} \right)$$

Ecuación 12: Densidad relativa SSS del agregado fino

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

Ecuación 13: Absorción del agregado fino

Donde:

A= Muestra seca al horno [g].

B= Masa del picnómetro + agua [g].

C= Masa del picnómetro + árido fino + agua [g].

S= Masa de la muestra SSS [g].

- **Densidad aparente suelta y compactada**

Tanto el procedimiento como los cálculos fueron los mismos utilizados en el agregado grueso.

Figura 11: Enrasado del agregado fino



- **Partículas menores al tamiz N°200**

Para determinar este parámetro, se usó el mismo método que el usado en el árido grueso.

- **Contenido orgánico del árido fino**

Esta prueba nos permite conocer la existencia de impurezas orgánicas contenidas en la arena, que podrían poner en riesgo a la calidad del hormigón (ASTM C40). El procedimiento fue hecho de acuerdo a la norma ASTM C40, el cual, consiste en lo siguiente:

- En una botella de vidrio graduado, poner la muestra de arena hasta más o menos 130 cm³.
- Llenar con hidróxido de sodio al 3%, hasta los 200 cm³.
- Tapar la botella, mecer con fuerza y dejar en reposo por 24 horas.
- Una vez cumplido el tiempo establecido, preparar una solución de color estándar, que consiste en K₂CR₂O₇ (dicromato de potasio), en H₂SO₄ a 0,250 g/cm³ de ácido, para ser posteriormente utilizado en un tiempo máximo de 2 horas.
- Colocar en la botella con la muestra, 75 ml de dicha solución de color estándar, recientemente elaborada y comparar con la botella que contiene sólo dicha solución.

La escala de color estándar Gardner, consiste en 5 colores, como muestra la Tabla 5:

Tabla 5: Escala de Gardner, en comparación con los colores del plato orgánico.

No. Escala Gardner	No. Plato Orgánico
5	1
8	2
11	3 (estándar)
14	4
16	5

Fuente: ASTM C40

Si el color del líquido que se encuentra sobre la muestra llega a ser más oscuro que la solución de color estándar, demuestra la existencia de impurezas orgánicas, en cantidades no aceptables, por lo que debe ser rechazada.

- **Resultados de los ensayos del agregado fino**

Debido que el agregado fino inicial se encontraba en condiciones poco favorecedoras para la elaboración del hormigón, se adquirió la arena de Holcim, y se repitió la evaluación de todos los parámetros del árido fino descritos anteriormente.

En la Tabla 6, se mostrarán los hallazgos comparativos del análisis granulométrico, con los tamices para los agregados finos preliminar y definitivo; mientras que, las Figuras 12 y 13, mostrarán las curvas granulométricas de los mismos, respectivamente.

Tabla 6: Análisis granulométrico para el agregado fino preliminar y definitivo

Abertura de Tamiz [mm]	N° Tamiz	Porcentaje Pasado [%]	
		Agregado Fino Preliminar	Agregado Fino Definitivo
12.50	1/2"	100.0	-
9.50	3/8"	99.5	100.0
4.75	N° 4	93.1	99.9
2.36	N° 8	82.3	79.4
1.18	N° 16	67.7	55.3
0.60	N° 30	50.2	37.2
0.30	N° 50	29.1	24.1
0.15	N° 100	14.0	14.9
-	Bandeja	0.0	0.0
Módulo de finura		2.6	2.9

Fuente: Laboratorio de Ensayos de Materiales, Mecánica de Suelos y Rocas, Escuela Politécnica Nacional, 2023.

Elaborado por: Nayeli Lluay

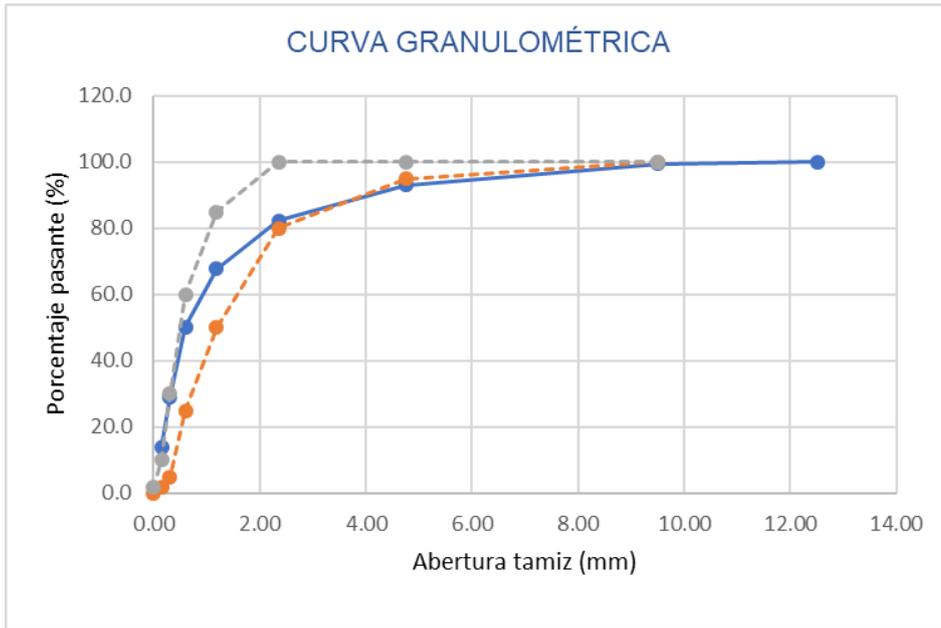


Figura 12: Curva granulométrica del agregado fino preliminar
Elaborado por: Nayeli Lluay

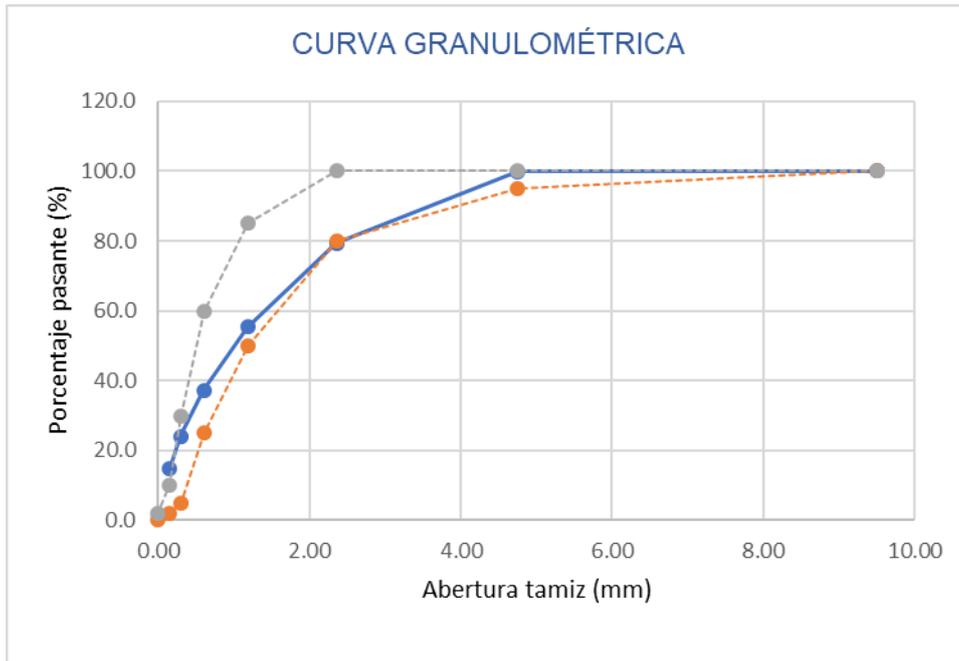


Figura 13: Curva granulométrica del agregado fino definitivo
Elaborado por: Nayeli Lluay

Los hallazgos comparativos de los áridos finos preliminar y definitivo, se señalan en la Tabla 7.

Tabla 7: Comparación de los resultados obtenidos de los ensayos para los agregados finos preliminar y definitivo.

Parámetro	Unidad	Resultado agregado fino preliminar	Resultado agregado fino definitivo
Densidad relativa SSS	g/cm ³	2.44	2.46
Absorción de agua	%	5.96	9.69
Densidad seca suelta	Kg/m ³	1560	1520
Contenido de vacíos de muestra suelta	%	32	32
Densidad seca compactada	Kg/m ³	1640	1680
Contenido de vacíos de muestra compactada	%	29	25
Tamaño máximo nominal	mm	4.75	4.75
Masa mínima requerida	g	300.00	1000.00
Masa seca inicial	g	587.00	1000.50
Masa seca final	g	540.90	970.80
Material que pasa por el tamiz N° 200	%	7.9	3.0
Contenido Orgánico	-	2	1

Elaborado por: Nayeli Lluay

En la Figura 14, se encuentra los hallazgos del ensayo del contenido orgánico del agregado fino preliminar.

Figura 14: Resultados del análisis del contenido orgánico de la arena preliminar



Elaborado por: Nayeli Lluay

En la Figura 15, se mostrará los resultados del contenido orgánico de la arena definitiva.

Figura 15: Resultados del análisis del contenido orgánico de la arena definitiva



Elaborado por: Nayeli Lluay

2.4.2. Cemento

2.4.2.1. Densidad Real del cemento

Por densidad del cemento se entiende como la masa en cada unidad de volumen de las partículas (ASTM C188). Se realizó el siguiente procedimiento de acuerdo a la norma ASTM C188, para hallar dicha densidad:

- Los factores ambientales ideales para realizar la prueba son: temperatura 23 °C y humedad al 65%. Adecuar el ambiente a dichas condiciones.

- Pesar una muestra de 64 gramos de cemento a condiciones ambientales
- En el frasco de Le Chatelier, en la parte baja del cuello, poner hasta la marca entre 0 y 1 cm³ la gasolina.
- Sumergir dentro del agua el frasco, pesar y anotar el volumen.
- En capas iguales, colocar la muestra de cemento, cuidando de que la muestra no se pegue en las paredes, tapar el frasco con el tapón.
- Sacar las burbujas, agitando cuidadosamente el frasco.
- Sacar la tapa y ponerlo en el recipiente de agua que se encuentra condiciones del entorno, entre 1 y 2 minutos, pesar y anotar el volumen final.

Figura 16: Ensayo de densidad real del cemento



Para determinar la densidad real del cemento, se calcula con la siguiente fórmula:

$$Densidad\ real = \frac{M2 - M1}{V2 - V1} \left[\frac{g}{cm^3} \right]$$

Ecuación 14: Densidad real del cemento

Donde:

- M1= Masa del frasco y reactivo [g]
- M2= Masa del frasco, reactivo y cemento [g].
- V1= Volumen marcado en el cuello inferior [cm³].
- V2= Volumen marcado en el cuello superior [cm³].

2.4.2.2. Consistencia normal del cemento

La consistencia normal del cemento indica la cantidad de agua que se necesita sumar a 650 gramos de cemento, para que la consistencia sea normal. Es un parámetro de

guía para otros ensayos como el tiempo de fraguado, resistencia frente a la tensión, y otros. El agua necesaria para que, una vez iniciada la prueba una aguja del aparato de Vicat de diámetro de un cm de introduzca 10 mm por 30 segundos en la pasta cementicia, es considerada como la cantidad de agua de consistencia normal (UCA, s.f.).

Esta prueba se realizó conforme a la norma ASTM C187. El procedimiento fue de la siguiente manera:

- **Pasta cementicia**
 - Pesar 500 g de cemento como muestra para el ensayo.
 - Colocar el recipiente seco y limpio, además de la paleta mezcladora.
 - Poner agua, cuya cantidad represente del 20 al 30% del peso de cemento; en una probeta.
 - Colocar el agua y la muestra del cemento, y esperar 30 segundos, para que el agua sea absorbida por el cemento.
 - A una velocidad baja, mezclar por 30 segundos.
 - Por 15 segundos, parar la mezcladora, mientras tanto, con la espátula, recoger la pasta que quedó en la pared.
 - A velocidad moderada, mecer por 60 segundos.
- **Prueba con el aparato de Vicat**
 - Engrasar un molde de tronco cónico.
 - Cuando la pasta ya esté hecha, se forma inmediatamente una bola y lanzar de una mano a la opuesta 6 veces, con una distancia aproximada de quince cm.
 - En el caso de que la pasta tenga las condiciones adecuadas, colocar la bola en el molde, por la zona más ancha, hasta que se llene.
 - En la parte ancha, sacar el exceso de pasta y colocar el molde en la placa.
 - Sin comprimir y con una espátula, engrasar la parte angosta del molde.
 - En el aparato de Vicat, poner el molde lleno con la pasta; en el borde superior del molde, bajar la sonda Tetmayer, tomando como cero del vástago.
 - Después, centrar dicho molde debajo del vástago y soltarlo.
 - Cuando se introduzca la aguja 10 milímetros, 30 segundos después de soltar dicho vástago; se consigue la consistencia normal.
 - Repetir la prueba en el caso de no obtenerse dicha consistencia normal.

Para calcular la consistencia normal del cemento, se aplica la siguiente fórmula:

$$C = \frac{M_w}{M_c} * 100 (\%)$$

Ecuación 15: Consistencia normal del cemento

Donde:

- C: Consistencia normal [%]
- Mw: Masa del agua [g]
- Mc: Masa del cemento [g]

2.4.2.3. Resultados de los ensayos del cemento

Los resultados de la caracterización del cemento se presentan en la tabla 8.

Tabla 8: Resultado de los parámetros del cemento

Parámetro	Unidad	Resultado
Volumen inicial, muestra a	cm ³	1.0
Volumen inicial, muestra b	cm ³	0.6
Masa inicial, muestra a	g	321.4
Masa inicial, muestra b	g	323.0
Volumen final, muestra a	cm ³	21.0
Volumen final, muestra b	cm ³	19.9
Masa final, muestra a	g	380.0
Masa final, muestra b	g	380.4
Variación de temperatura, muestra a	°C	0.0
Variación de temperatura, muestra b	°C	0.0
Densidad real, muestra a	g/cm ³	2.93
Densidad real, muestra b	g/cm ³	2.97
Densidad real, promedio	g/cm ³	2.95
Masa del cemento, para prueba de consistencia normal	g	650.0
Masa del agua	g	188.5
Valor de asentamiento	mm	9
Índice de masa	%	29.0

Elaborado por: Nayeli Lluay

2.4.3. Fibras de cabuya

2.4.3.1. Longitud de fibras

Según la norma ACI 544.1R-96 (2002), la longitud recomendada para utilizar las fibras es de unos 4 cm aproximadamente. Con este antecedente, se cortaron las fibras a 4 cm con guillotina.

2.4.3.2. Tratamiento con hidróxido de sodio

Se sumergieron las fibras previamente cortadas dentro de una solución de NaOH al 6% de concentración en peso del agregado grueso y dejar reposar por 24 horas. Pasado el tiempo, enjuagar las fibras con abundante agua, hasta que el agua salga neutra. El agua que sale es amarillenta, debido al contenido de lignina y hemicelulosa que se desprenden de las fibras.

Se secaron con toalla posteriormente se secaron al horno a 110 °C, durante 24 horas, para que las fibras se encuentren en el estado saturado superficialmente seco (SSS).

2.4.3.3. Evaluación de las fibras

Se sacaron 35 muestras sin tratamiento y 35 con tratamiento en estado neutro, se midieron la longitud de las fibras, se pesaron y se etiquetaron. Se evaluaron los siguientes parámetros: densidad lineal, tenacidad, contenido de humedad, elongación y resistencia a la tracción.

- **Humedad**

Con el objetivo de hallar la humedad de las fibras, se siguió el mismo proceso descrito en la NTE INEN 862 (2011) que permite determinar la humedad de los áridos, que es el que se muestra a continuación:

- Pesar un recipiente vacío, en el que se colocarán las fibras
- Poner una muestra de fibra en el recipiente
- Determinar la masa del recipiente con la muestra.
- Colocar el recipiente con fibras en el horno, a $70^{\circ}\text{C}\pm 5^{\circ}\text{C}$ de temperatura, por 24 ± 2 horas.
- Posteriormente, del horno, sacar dicha muestra y enfriarla a la temperatura ambiental.
- Pesar el recipiente con las fibras secas al horno.

Con los hallazgos determinados, se halla el porcentaje de humedad de la siguiente manera:

$$H = \frac{m_1 - m_2}{m_1} * 100$$

Ecuación 16: Humedad de las fibras

Donde:

- H: Humedad [%]
- m_1 : masa seca al ambiente de la fibra [g]
- m_2 : masa seca al horno de la fibra [g]

- **Absorción**

El procedimiento que se utilizó para la determinación de las fibras tratadas la absorción, se realizó conforme a la norma ASTM D 570 (1998), de la siguiente manera:

- Al horno, secar una muestra de fibras a 53 °C, por 24 horas.
- Sacar la muestra del horno y enfriar al ambiente.
- Pesar la muestra en una balanza de sensibilidad 0,0001 g.
- Sumergir la muestra en agua potable al ambiente y dejar reposar por 24 horas.
- Pesar las fibras a los 30 minutos de estar sumergidas.
- Sacar las fibras del agua y secar superficialmente con un trapo
- Pesar la fibra en estado SSS.

La absorción se calculó, con los datos que se obtuvieron, mediante la siguiente fórmula:

$$Absorción = \frac{m_0 - m_i}{m_i} * 100$$

Ecuación 17: Absorción de las fibras

Donde:

- Absorción [%]
- m_1 : masa seca al horno de la fibra [g]
- m_0 : masa en estado SSS [g]

2.4.3.4. Propiedades físicas

- **Densidad SSS**

Una vez que se ha determinado la absorción de las fibras, se determinó la densidad de las fibras en SSS, para ello se realizó lo siguiente:

- Una vez que las fibras se encuentren en estado SSS, colocar agua en un recipiente aforado hasta una medida marcada y pesar. Mientras más agua se coloque, las medidas serán más precisas.

- Sumergir las fibras en dicho recipiente hasta que las fibras estén sumergidas en agua.
- Determinar el volumen que aumentó en el recipiente y pesarlo

Se aplica la siguiente fórmula, para el cálculo de la densidad de las fibras:

$$Densidad\ SSS = \frac{M_2 - M_1}{V_2 - V_1} \left[\frac{g}{cm^3} \right]$$

Ecuación 18: Densidad SSS de las fibras de cabuya

Donde:

M₁: Masa del recipiente más agua [g]

M₂: Masa del recipiente más agua más fibras en estado SSS [g]

V₁: Volumen del agua [cm³]

V₂: Volumen del agua más fibras en SSS [cm³]

- **Tenacidad, esfuerzo a la ruptura, densidad lineal, elongación y resistencia a la tracción**

Para determinar la tenacidad de las fibras, se siguió el siguiente proceso conforme a la norma ASTM D 2256-02 (2022), con el objetivo de estimar de las fibras, la tenacidad:

- Preparar la muestra, de acuerdo a la longitud y forma requeridas por la norma. Procurar que la humedad de las fibras sea similar a la de la atmósfera.
- Colocar la muestra en un equipo de tracción, ubicando cada extremo de la fibra en cada mordaza y someter a una fuerza creciente de tracción a 10 mm/min hasta la rotura. Determinar el esfuerzo aplicado y la elongación de la muestra.
- Se debe rechazar la muestra si la ruptura se da en los primeros 3 mm desde cualquiera de las mordazas, o si entre dichas mordazas ha ocurrido un deslizamiento, y el resultado resulta por debajo del 20% del promedio de la fuerza a la rotura del grupo.

Con los datos obtenidos, se calcula la tenacidad de la siguiente manera:

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

Ecuación 19: Tenacidad de las fibras

Donde:

- B: Tenacidad [cN/tex].
- F: Fuerza de rotura [cN].
- T: Densidad lineal [tex].

Por otro lado, la elongación se determina mediante la siguiente fórmula:

$$\varepsilon_p = \frac{E * R * 100}{C * L}$$

Ecuación 20: Elongación de las fibras

Donde:

- ε_p : Elongación o alargamiento [%].
- E: Distancia entre el punto cero en la gráfica fuerza-elongación y el punto correspondiente de la fuerza de pre-tensión de la fibra [mm].
- R: Velocidad de prueba [mm/min]
- C: Velocidad del gráfico de registro [mm/min]
- L: Longitud nominal de la fibra [mm]

2.4.3.5. Resultados de la evaluación de las fibras

Los hallazgos de las propiedades de las fibras de cabuya sin tratar son señalados en la tabla 9, mientras que, la tabla 10 indica los resultados de las evaluaciones de fibras tratadas con NaOH al 6% de concentración. Al tratamiento, las fibras requirieron una mayor extensión y mayor tiempo a la rotura, además, que presentaron un mayor porcentaje de elongación, una menor densidad lineal y una menor humedad; sin embargo, también necesitaron una fuerza a la rotura considerablemente menor y presentaron una tenacidad menor en relación a las fibras sin tratar. Esto pudo haber sucedido posiblemente debido a la hemicelulosa y lignina eliminadas durante la exposición de fibras al NaOH al 6% de concentración.

Tabla 9: Resultados de la evaluación de las fibras sin tratar

	Vel. Prueba [mm/min]	Fuerza Rotura [N]	Extensión [mm]	Tiempo al Break [s]	Elongación [%]	Densidad Lineal [tex]	Tenacidad [N/tex]	Humedad [%]
Media	10	11,5	3,75	20,87	0,06911	31,61	0,361	8,5±1,3
Desviación Estándar		3,72	0,64	3,83	0,01	6,59	0,08	

Elaborado por: Nayeli Lluay

Tabla 10: Resultados de la evaluación de las fibras tratadas químicamente

	Vel. Prueba [mm/min]	Fuerza Rotura [N]	Extensión [mm]	Tiempo al Break [s]	Elongación [%]	Densidad Lineal [tex]	Tenacidad [N/tex]	Humedad [%]
Media	10	3,55	4,13	23,76	0,07891	19,15	0,187	6,7±0,8
Desviación Estándar		1,60	1,63	9,43	0,03	4,68	0,07	

Elaborado por: Nayeli Lluay

Figura 17: Fuerza de Rotura

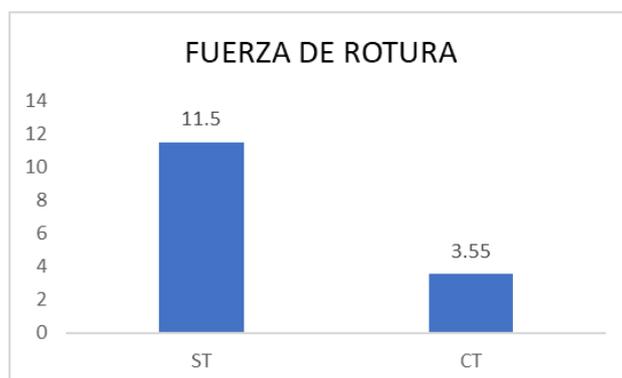


Figura 18: *Elongación*

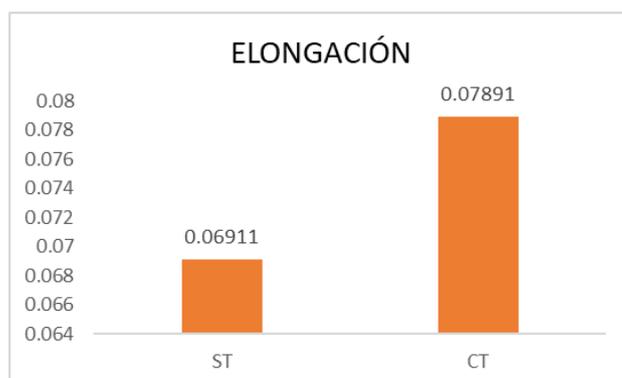


Figura 19: Densidad Lineal

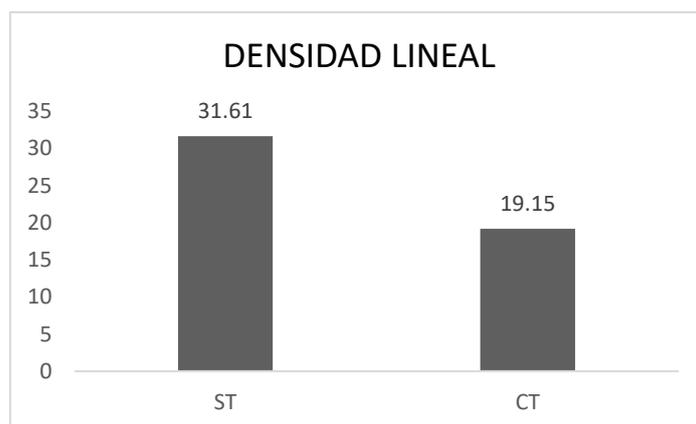
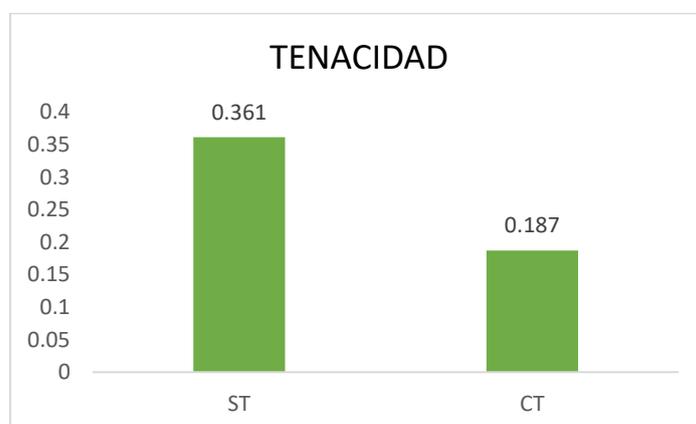


Figura 20: Tenacidad



2.5. Dosificación del hormigón

Acorde a la norma ACI 211.1, se dosificaron los materiales, en primera instancia, para realizar el hormigón patrón, de 210 kgf/cm², de la siguiente manera: por cada medida de cemento, se colocan 1,32 medidas de agregado fino, 2,81 medidas de árido grueso y 0,53 de agua. Realizar un ensayo a compresión al sétimo día de curado; para aceptar la dosificación dada, la resistencia debe llegar mínimo al 65% de la resistencia de diseño.

Sin embargo, se realizaron varias dosificaciones con el agregado fino preliminar (que contenía una gran cantidad de impurezas), se realizaron dichas pruebas a compresión a los 7 días y al no llegar a la resistencia mínima requerida, se realizaron más dosificaciones con el agregado fino definitivo (que tenía resultados favorables en cuanto al contenido orgánico) y realizando sus respectivas pruebas de compresión, hasta llegar a la dosificación definitiva, que cumplió con la resistencia mínima, la cual, es señalada en la tabla 11.

Tabla 11: Dosificación definitiva del hormigón patrón

Materiales	Peso [Kg/m³ de hormigón]	Relación
Cemento	548,78	1,00
Agua	301,83	0,55
Agregado grueso	641,7	1,17
Agregado fino	889,29	1,62

Una vez que el hormigón patrón dosificado cumpla con el mínimo de resistencia de referencia, se aumenta el 0,5% de fibras en relación al agregado grueso para poder analizar el análisis objetivo de esta investigación.

Figura 21: Proceso de mezcla de hormigón con fibras



2.6. Elaboración y ensayo de cilindros y vigas

2.6.1. Cilindros

2.6.1.1. Elaboración de cilindros

Los cilindros a evaluarse tienen medidas de 10 cm de diámetro x 30 cm de alto. Se utilizaron 3 cilindros por tipo y tiempo de curado, excepto para el hormigón patrón a los 7 días de curado que fueron 2, resultando en un total de 11 cilindros (Tabla 12). La resistencia a la compresión (f_c) mínima esperada del hormigón era de 210 kgf/cm².

Tabla 12: Número de cilindros para la prueba de compresión, módulo de elasticidad y fuerza aplicada

Tipología	Tiempo de curado		# Muestras
	7 días	28 días	
Hormigón patrón	2	3	5
Hormigón reforzado con fibras al 0,5%	3	3	6
Total			11

Según la norma ASTM C 31/ C31 M – 03a (2003), existen dos maneras de consolidar cada capa, en los moldes, de la mezcla del hormigón; el primero es el método de apisonado, que consiste en penetrar con una varilla el número de veces necesario, que va dependiendo del tipo de probeta y de las dimensiones del cilindro o viga; este método de compactación sólo se realiza en el caso de que la bajada del cono sea mayor o igual a 25 mm; el segundo método es por vibrado, que consiste en colocar el molde con una o más capas de hormigón (cuyas anteriores capas han sido previamente compactadas), y hacerlo vibrar por el tiempo necesario, hasta sacar aire de la superficie, dicho tiempo también depende de la calidad de la vibradora y de la trabajabilidad de la mezcla; este método se puede aplicar sin importar la medida de la bajada del cono. Después de la compactación de cada capa, independientemente del método utilizado, se dan golpes alrededor del molde, con un combo de plástico o de caucho.

Todos los cilindros se realizaron a base de dos capas de mezcla de hormigón. Con el objetivo de realizar cilindros de hormigón patrón y cilindros de hormigón con fibras, se colocó la primera capa de la mezcla en el molde, se realizó la compactación por vibrado, durante 30 segundos, a continuación, se sacó el molde de la vibradora y se golpeó 10 veces con el combo plástico, alrededor del molde; posteriormente, se colocó la segunda capa faltante y se repitió tanto el proceso de compactación en la vibradora como los golpes.

Para finalizar con el proceso de encofrado se engrasaron los cilindros posteriormente a los golpes dados después de la compactación de la segunda capa de la mezcla y se engrasaron los moldes de plástico antes de encofrar los cilindros.

Una vez desencofrados los cilindros, se etiquetaron las muestras y se dejaron en tanques de agua durante 7, 14, 28 días, según correspondía, en el cuarto de curado.

Figura 22: Desencofrado de cilindros



Figura 23: Cuarto de curado de cilindros



2.6.1.2. Resistencia a compresión

Cuando se cumplieron con los períodos de curado, se procedieron a sacar las muestras y se secaron con trapo para sacar el exceso de agua. A continuación, se tomaron dos medidas del diámetro y tres de altura, para obtener las medidas promedio del cilindro, los mismos que también se pesaron. Para este ensayo, con el objetivo de que la distribución de la carga sea uniforme, se utilizó neopreno.

Posteriormente, en la máquina de compresión, se colocó el cilindro con las bases de neopreno y se sometió a una carga máxima hasta que el cilindro se rompiera. Se registró la carga máxima que aguantó el cilindro antes de que se rompiera, así como el tipo de rotura.

Figura 24: Ensayo a compresión de cilindros



Para determinar el esfuerzo máximo del espécimen, se aplicó la siguiente fórmula:

$$f'c = \frac{P_{m\acute{a}x}}{A} = \frac{P_{m\acute{a}x}}{\frac{\pi}{4} * D_{prom}^2} \left[\frac{Kgf}{cm^2} \right]$$

Ecuación 21: Esfuerzo máximo de cilindro

Donde:

- $f'c$: esfuerzo máximo del cilindro
- $P_{m\acute{a}x}$: Carga máxima soportada por el cilindro [kgf]
- A : Área transversal del cilindro [cm²]
- D_{prom} : Diámetro promedio del cilindro [cm]

2.6.2. Vigas

2.6.2.1. Elaboración de las vigas

Las vigas a evaluarse poseen medidas de 10 cm x 10 cm x 40 cm. Se utilizaron 2 vigas para el hormigón patrón, por tiempo de curado, y 3 vigas para el hormigón reforzado con fibras, por tiempo de curado en ambos casos, dando un total de 10 vigas (Tabla 10). La $f'c$ mínima esperada del hormigón fue de 210 kgf/cm², al igual que en los cilindros.

Tabla 13: Número de vigas para las pruebas de flexión y deflexión

Tipología	Tiempo de curado		# Muestras
	7 días	28 días	
Hormigón patrón	2	2	4
Hormigón reforzado con fibras al 0,5%	3	3	6
Total			10

Elaborado por: Nayeli Lluay

Con la mezcla de hormigón patrón, o de hormigón reforzado con fibras, se llenó hasta la mitad y se procedió a compactar en la máquina vibradora por 1 minuto, se colocó la mitad restante de la mezcla, se volvió a vibrar por 1 minuto y se enrasó. Posteriormente, se engrasaron los moldes de acero y se encofraron, procurando que el molde quede bien ajustado, debido al material de acero.

Figura 25: Encofrado de cilindros y vigas



Se desencofraron las vigas, se etiquetaron y se realizó el proceso de curado a los 7 ó 28 días, según correspondía el caso.

Figura 26: Desencofrado de las vigas



2.6.2.2. Resistencia a la flexión en vigas

Después del tiempo de curado, se sacaron las vigas del cuarto de curado y se quitaron el exceso de agua con un trapo. Posteriormente, se tomaron las medidas de las 3 dimensiones y se pesaron. Esta actividad debe realizarse con la mayor velocidad posible, con el objetivo de frenar la pérdida de tanta humedad por parte de la superficie de la viga y así, mantenga una resistencia adecuada a la flexión (ASTM C78).

Con el objetivo de realizar la prueba a flexión en vigas, se utiliza un aparato de carga, que satisfaga lo establecido en la norma ASTM C78; entre los dos apoyos se encuentra la luz libre de 30 cm, de manera que cuando la viga se encuentre bien ubicada y centrada, los componentes de aplicación dividan la porción de la viga afectada por la luz en 3 tercios iguales, es decir, 10 cm por tercio. Quedando 5 cm a cada lado de la luz libre.

Figura 27: Marcado de las vigas para el ensayo de flexión



El procedimiento para dicho ensayo, se aplicó conforme a la norma mencionada, de la siguiente manera:

- Girar la viga al constado en relación a la posición en la que fue encofrada
- Marcar la viga como anteriormente se mencionó con un marcador especial para hormigón.
- En relación a la fuerza aplicada, colocar el sistema de carga en el centro.
- Colocar los componentes de imposición de carga en los tercios de la viga y aplicar la lámina que distribuirá uniformemente la carga que se va a aplicar.

Figura 28: Preparación de la viga para el ensayo a flexión



- Hasta que se rompa, aplicar la carga sobre la viga, a una velocidad que incremente frecuentemente la tensión de las fibras extremas y que, a su vez, sea constante.

Se aplica la siguiente ecuación, para determinar la velocidad a la que se aplica la carga:

$$R = \frac{Sbd^2}{L}$$

Ecuación 22: Velocidad de carga

Donde:

- R: Velocidad de carga [MN/min].
- S: Velocidad de incremento del esfuerzo en las fibras extremas [MPa/min].
- b: Ancho promedio de la viga [mm].
- d: Altura promedio de la viga [mm].
- L: largo de la luz [mm].

Una vez realizada la prueba, se tomó medidas 3 veces de cada borde y la sección transversal de una de las caras rotas, con ello, se obtienen el ancho y profundidad promedios. Aproximar las medidas al 1 mm más cercano. En el caso que se la ruptura se haya dado en una porción fuera del límite central, se debe tomar en cuenta el grosor del entre uno de los límites centrales y la falla para los cálculos.

En el caso de que la ruptura se comience en la zona superficial de tracción en el segundo tercio afectado por la luz, el módulo de ruptura se obtiene con la siguiente fórmula:

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

Ecuación 23: Módulo de ruptura, si se dio dentro del tercio medio

Donde:

R: Módulo de ruptura [MPa].

P: Carga máxima aplicada indicada por la máquina de ensayos [N].

L: Longitud de la luz [mm].

b: Ancho promedio de la viga, en la ruptura [mm].

d: Altura promedio de la viga, en la ruptura [mm].

Otro caso, es que, si la viga, en la zona superficial de tracción, se rompe fuera del tercio central del largo de la luz, en una distancia máxima del 5% de la longitud de dicha luz, el módulo de ruptura se obtiene aplicando la fórmula que se muestra a continuación:

$$R = \frac{3Pa}{bd^2}$$

Ecuación 24: Módulo de ruptura, si la fractura se presentó fuera del tercio medio, a una distancia máxima del 5% del largo de la luz

Donde:

- a: Distancia promedio entre la línea de fractura y el apoyo más cercano medido en la superficie de tracción de la viga [mm].

Se debe rechazar los hallazgos del ensayo, en el caso de que la ruptura se haya presentado fuera del segundo tercio afectado por la luz, cuya distancia sea mayor al 5% del largo de dicha luz.

2.6.2.3. Deflexión en vigas

Para calcular las deflexiones de la viga, se utilizarán los datos de posición inicial y final obtenidos durante el ensayo de flexión. La posición inicial se determinará cuando la palabra "hold" aparezca en verde en el monitor de la máquina, indicando el inicio de la aplicación de carga sobre la viga. Monitorear tanto la posición como la fuerza aplicada hasta la rotura de la viga; momento en el cual, se registra la posición en la que ocurrió dicha rotura, que será la posición final; así como también la fuerza aplicada necesaria para el evento, que será la carga máxima.

Figura 29: Registro de datos del ensayo a flexión en vigas



3. RESULTADOS, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

3.1. Resultados

3.1.1. Resistencia a la compresión en cilindros

En las siguientes tablas, se mostrarán los datos de la resistencia a la compresión en todos los especímenes cilíndricos evaluados, tanto de hormigón sin fibras, como de hormigón con fibras.

Tabla 14: Carga máxima y resistencia a la compresión de cilindros de hormigón sin fibras

7 días										
Descripción	Diámetro	Área	Peso específico		Carga máxima	Tipo de falla	Defectos	Resistencia		
	[mm]	[mm ²]	[Kg/m ³]	[g/cm ³]	[KN]			[Mpa]	[Kgf/cm ²]	±U
DP 1	100,75	7972	2214	2,214	99,6	Tipo 3	C	12,5	127,375	0,013
DP 2	100,75	7972	2214	2,214	99,4	Tipo 3	C	12,5	127,375	0,013
Promedio	100,75	7972	2214	2,214	99,5			12,5	127,375	0,013
Varianza	0	0	0	0	0,02			0	0	0
Desviación estándar	0	0	0	0	0,14			0	0	0
14 días										
DP 1	100,50	7933	2180	2,18	127,6	Tipo 5	C	16,1	164,059	0,027
DP 2	100,75	7972	2156	2,156	128,5	Tipo 4	C	16,1	164,059	0,027
DP 3	100,75	7972	2173	2,173	126,7	Tipo 2	C	15,9	162,021	0,027
Promedio	100,67	7959	2169,67	2,17	127,6			16,033	163,38	0,027
Varianza	0,021	507	152,33	0,00015	0,81			0,013	1,38	0
Desviación estándar	0,144	22,52	12,34	0,012	0,9			0,12	1,18	0
29 días										
DP 1	100,75	7972	2199	2,199	183,9	Tipo 2	C	23	234,37	0,031
DP 2	100,75	7972	2201	2,201	181,4	Tipo 2	C	22,6	230,294	0,031
DP 3	100,75	7972	2201	2,201	197	Tipo 2	C	24,7	251,693	0,031
Promedio	100,75	7972	2200,33	2,2003	187,43			23,43	238,79	0,031
Varianza	0	0	1,33	1,333333E-06	70,203			1,243	129,103	0
Desviación estándar	0	0	1,15	0,0012	8,38			1,12	11,36	0

Tabla 15: Carga máxima y resistencia a la compresión de cilindros de hormigón con fibras

7 días										
Descripción	Diámetro	Área	Peso específico		Carga máxima	Tipo de falla	Defectos	Resistencia		
	[mm]	[mm ²]	[Kg/m ³]	[g/cm ³]	[KN]			[Mpa]	[Kgf/cm ²]	±U
037 D1	100,50	7933	2200	2,200	118,4	Tipo 2	C	14,9	151,83	1,40E-02
037 D2	100,75	7972	2201	2,201	111,5	Tipo 4	C	14,0	142,66	1,30E-02
037 D3	100,50	7933	2202	2,202	118,1	Tipo 2	C	14,9	151,83	1,40E-02
Promedio	100,58	7946,00	2201,00	2,20	116,00			14,60	148,77	0,01
Varianza	0,02	507	1	1E-06	15,21			0,27	28,04	3,333E-07
Desviación estándar	0,14	22,52	1	0,001	3,9			0,52	5,29	0,0005774
33 días										
037 D4	100,75	7972	2201	2,201	180,5	Tipo 2	C	22,6	230,29	3,10E-02
037 D5	100,75	7972	2210	2,210	179,2	Tipo 2	C	22,5	229,28	3,10E-02
037 D6	100,5	7933	2228	2,228	205,8	Tipo 2	C	26,0	264,94	3,20E-02
Promedio	100,67	7959	2213	2,213	188,5			23,7	241,50	3,13E-02
Varianza	0,02	507	189	0,000189	224,89			3,97	412,23	3,333E-07
Desviación estándar	0,14	22,52	13,75	0,014	15,00			1,99	20,30	0,0005774

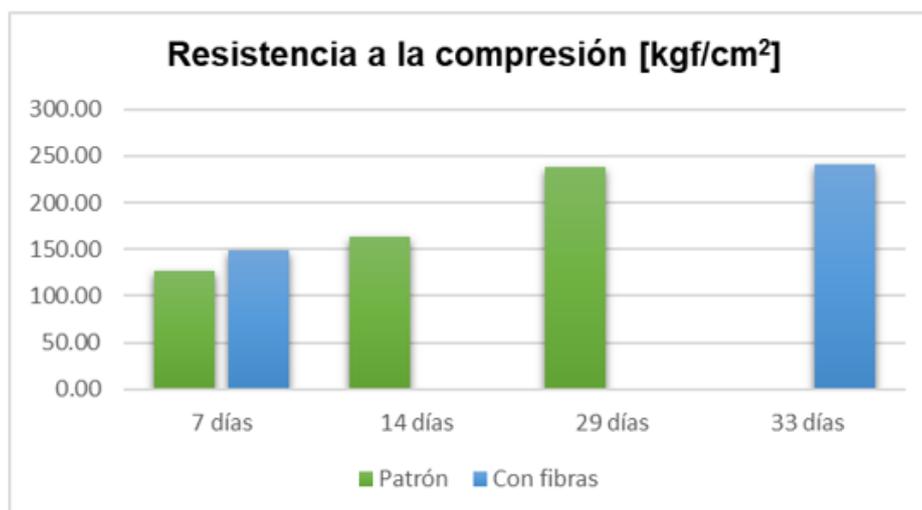
Los promedios de la resistencia a la compresión de los cilindros de hormigón patrón a los 7, 14 y 29 días de curado, y de hormigón reforzado con fibras a los 7 y 33 días de curado se señalan en la tabla 16. En la figura 6, se muestra un gráfico comparativo de la resistencia a la compresión en cilindros de hormigón patrón y hormigón reforzado con fibras. En este punto, cabe mencionar que, debido a que los 28 días coincidieron con la suspensión de clases presenciales debido a la declaratoria por parte del Gobierno Nacional del Conflicto Armado Interno (9 de enero del 2024), por los hechos de inseguridad acontecidos en el país, se realizaron las pruebas de compresión en cilindros de hormigón patrón a los 29 días y de los de hormigón con fibras a los 33 días. El hormigón alcanza el 99% de su resistencia máxima a los 28 días, por lo que la variación a los 33 días será mínima y es válido realizar una comparación entre los 29 y 33 días para cumplir con el objetivo de esta investigación.

Tabla 16: Resultados promedio de resistencia a la compresión en cilindros de hormigón patrón a los 7, 14 y 29 días de curado, y de hormigón reforzado con fibras a los 7 y 33 días de curado.

Tipología	Edad de curado [días]	Peso específico [g/cm ³]	Carga máxima [kN]	Resistencia [kgf/cm ²]
Hormigón patrón	7	2,21	99,5	127,38
	14	2,17	127,6	163,38
	29	2,20	187,43	238,79
Hormigón con fibras	7	2,20	116,00	148,77
	33	2,21	188,50	241,50

Elaborado por: Nayeli Lluy

Figura 30: Resistencia a la compresión en cilindros



Como se aprecia en la tabla 16 y en la figura 6, a los 7 días, el esfuerzo máximo que soportaban los cilindros de hormigón patrón antes de su compresión es de 127,38 kgf/cm², mientras que, los cilindros de hormigón reforzado con fibras de cabuya obtuvieron una resistencia de 148,77 kgf/cm². A los 14 días, la resistencia a la compresión del hormigón patrón se incrementó a 163,38 kgf/cm². Finalmente, a los 29 días, los cilindros de hormigón patrón llegaron a obtener una resistencia de 238,79 kgf/cm², en cambio, a los 33 días de curado, los cilindros de hormigón con fibras llegaron a una resistencia de 241,5 kgf/cm².

A los 7 días, los cilindros de hormigón con fibras demostraron una mayor resistencia en comparación con los de hormigón patrón, registrando específicamente un incremento del 16% de concentración en su resistencia. No obstante, al alcanzar los 33 días de curado, los cilindros de hormigón con fibras solo exhibieron un aumento del 1% en resistencia respecto a los de hormigón patrón. Aunque inicialmente se esperaba una disminución en la resistencia, esta ligera diferencia podría atribuirse a la baja concentración de fibra y, por ende, a una menor porosidad en los cilindros, lo que habría influido en que la resistencia no se viera afectada. Se anticipa que un mayor porcentaje de fibra tendrá un impacto más significativo en la reducción de la resistencia.

Por otro lado, la resistencia aumentó considerablemente, en ambos tipos de hormigón, cuando incrementa la edad de curado. El incremento en la resistencia del hormigón con el tiempo de curado se atribuye al proceso de hidratación del cemento, que fortalece la estructura interna y mejora las propiedades mecánicas. Esta mejora es notable especialmente durante los primeros 28 días, donde se alcanza cerca del 99% de la resistencia final. Después de este período, la ganancia de resistencia continúa, pero a un ritmo más lento, lo que sugiere que la diferencia en la resistencia entre los 28 días y los períodos posteriores no es significativa en comparación con la mejora inicial.

3.1.2. Flexión en vigas

Se mostrarán los resultados de la resistencia a la flexión en vigas individuales, tanto de hormigón patrón como de hormigón reforzado con fibras, a continuación.

Tabla 17: Resistencia a la flexión en vigas de hormigón patrón

7 días					
Descripción	Sección de rotura		Luz Libre [mm]	Carga Máxima [N]	Módulo de Rotura [Mpa]
	Alto	Ancho			
	[mm]	[mm]			
HP Viga 1	102	100	300	6935	2
HP Viga 2	100	102	300	7630	2,25
Promedio	101	101	300	7282,5	2,13
Varianza	2	2	0	241512,5	0,03
Desviación estándar	1,41	1,41	0	491,44	0,18
28 días					
HP Viga 1	101	102	300	8320	2,40
HP Viga 2	101	102	300	9830	2,85
Promedio	101	102	300	9075	2,63
Varianza	0	0	0	1140050	0,101
Desviación estándar	0	0	0	1067,73	0,32

Elaborado por: Nayeli Lluay

Tabla 18: Resistencia a la flexión en vigas de hormigón reforzado con fibras

7 días					
Descripción	Sección de rotura		Luz Libre [mm]	Carga Máxima [N]	Módulo de Rotura [Mpa]
	Alto	Ancho			
	[mm]	[mm]			
037-V1	102	102	300	6867	1,95
037-V3	103	102	300	8640	2,4
037-V4	103	103	300	6580	1,8
Promedio	102,67	102,33	300	7362,33	2,05
Varianza	0,33	0,33	0	1244916,33	0,098
Desviación estándar	0,58	0,58	0	1115,76	0,31
33 días					
037-V2	105	111	300	14070	3,45
037-V5	101	101	300	11620	3,4
037-V6	100	103	300	13111	3,8
Promedio	102	105	300	12933,67	3,55
Varianza	7	28	0	1524210,33	0,05
Desviación estándar	2,65	5,29	0	1234,59	0,22

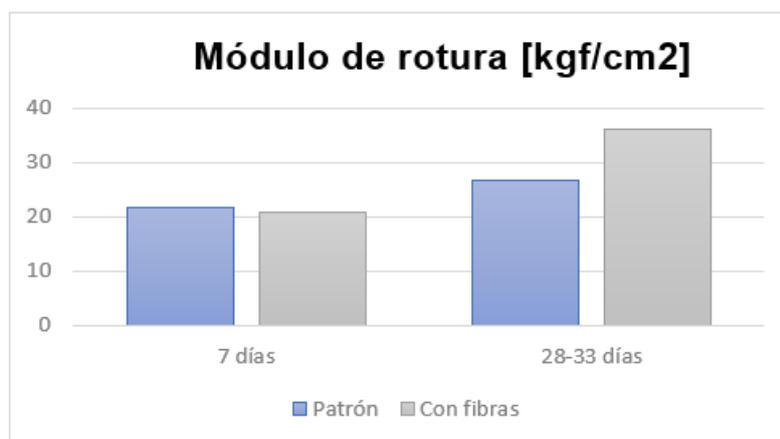
Elaborado por: Nayeli Lluay

Los promedios de la resistencia a la flexión de las vigas de hormigón patrón a los 7 y a los 28 días, y de hormigón con fibras a los 7 y a los 33 días se indican en la tabla 19. Se señala la comparación de vigas de ambos tipos de hormigón, a diferentes edades de curado en la figura 7. Debido a que el día 28 de curado de las vigas de hormigón con fibras coincidía con la situación de inseguridad y suspensión de clases presenciales, se realizaron los ensayos a los 33 días.

Tabla 19: Resistencia promedio a la flexión en vigas

Tratamiento	Edad de curado [días]	Carga Máxima [N]	Módulo de Rotura [MPa]	Resistencia [kgf/cm ²]
Hormigón patrón	7	7282,5	2,13	21,67
	28	9075	2,63	26,77
Hormigón con fibras	7	7362,33	2,05	20,90
	33	12933,67	3,55	36,20

Figura 31: Resistencia a la flexión en vigas



A los 7 días, la resistencia a la flexión en vigas de hormigón patrón fue de 21,67 kgf/cm², mientras que la resistencia de las vigas de hormigón con fibras fue ligeramente menor, alcanzando los 20,90 kgf/cm², lo que representa una diferencia del 3,5%. Sin embargo, tras cuatro semanas de curado, la diferencia en resistencia entre las vigas de hormigón patrón y las reforzadas con fibras aumentó significativamente. A los 28 días, la resistencia a la flexión de las vigas de hormigón patrón se situó en 26,77 kgf/cm², mientras que las vigas de hormigón reforzado alcanzaron los 36,20 kgf/cm². En este punto, las vigas de hormigón reforzadas con fibras exhibieron una resistencia un 35% superior a las elaboradas con hormigón patrón, posiblemente debido al tratamiento químico de las fibras, que les confiere una mayor tenacidad y flexibilidad, resultando en

un mayor alargamiento a la rotura en comparación con las fibras sin tratamiento. Esta mayor flexibilidad podría haber contribuido a que las vigas soportaran una carga más elevada, aplicada perpendicularmente a su eje. Independientemente del tipo de hormigón, el tiempo prolongado de curado, al igual que en los cilindros, mejoró las propiedades mecánicas de las vigas, permitiendo que el agua ocupara los espacios dentro de las mismas y que el hormigón alcanzara aproximadamente el 99% de su resistencia a los 28 días, como se explicó previamente.

Figura 32: Falla de una viga a flexión



Figura 33: Rotura de una viga por ensayo a flexión



3.1.3. Deflexión en vigas

Los hallazgos de la deflexión en vigas de hormigón patrón a los 7 y 28 días y de las vigas de hormigón reforzado con fibras a los 7 y 33 días, se aprecian en la tabla 20.

Tabla 20: Resultados de deflexión en vigas con hormigón patrón y con hormigón reforzado con fibras

Tipología	Muestra	Posición inicial	Posición final	Deflexión
HORMIGÓN PATRÓN	7 días			
	HP VIGA 1	1,33	7,63	6,3
	HP VIGA 2	0,74	6,9075	6,1675
	28 DÍAS			
	HP VIGA 3	0,32	8,3275	8,0075
	HP VIGA 4	0,69	9,8325	9,1425
HORMIGÓN CON FIBRAS	7 días			
	VIGA 1	0,04	6,8675	6,8275
	VIGA 2	0,49	8,64	8,15
	VIGA 3	0,04	6,58	6,54
	33 DÍAS			
	VIGA 4	0,12	14,0725	13,9525
	VIGA 5	0,13	11,65	11,52
	VIGA 6	0,44	13,1075	12,6675

En la tabla 21, se mostrarán los promedios de la deflexión en vigas de hormigón patrón a los 7 y 28 días y de hormigón patrón a los 7, 28 y 33 días.

Tabla 21: Resultados promedio de la deflexión en vigas.

Tipología	Tiempo de curado [días]	Posición inicial	Posición final	Deflexión [mm]
Hormigón patrón	7	1,04	7,27	6,23
	28	0,51	9,08	8,58
Hormigón con fibras	7	0,19	7,36	7,17
	33	0,23	12,94	12,71

Las vigas de hormigón con fibras presentan una deflexión mayor que las de hormigón patrón, sin importar el tiempo de curado. Durante el período de 7 a 28 días de curado, las vigas de hormigón patrón experimentaron un aumento menor en la deflexión en comparación con las reforzadas con fibras. A los 28 días las vigas de hormigón patrón alcanzaron una deflexión de 8,59 mm al momento de la falla, mientras que las de hormigón reforzado con fibras alcanzaron una deflexión de 12,71mm. Al término del ensayo, en promedio, la deflexión en las vigas de hormigón reforzado con fibras aumentó en un 48% en comparación con las de hormigón patrón. Este incremento puede atribuirse a la resistencia que las fibras confieren, permitiéndoles soportar una carga mayor y experimentar una deflexión más pronunciada antes de fallar.

3.2. Conclusiones

- La finalidad de la realización de las losetas era la comparación de las grietas presentes en las losetas de hormigón patrón y las reforzadas con fibras de cabuya. La falta de grietas en las losetas de hormigón patrón durante los ensayos impidió el análisis de la efectividad en la reducción de grietas al adicionar el 0,5% en peso del agregado grueso, de fibras de cabuya tratadas químicamente. Esta limitación sugiere la necesidad de revisar tanto los materiales utilizados como la dosificación estándar empleada en el estudio para futuras investigaciones.
- Aunque los ensayos de laboratorio confirmaron que el agregado grueso era adecuado para la fabricación del hormigón, se identificaron características desfavorables en el agregado fino, como un alto contenido de materia orgánica, lo que afectó la resistencia esperada del hormigón. La sustitución por una arena diferente con propiedades mecánicas y contenido de materia orgánica más favorables fue crucial para mejorar la calidad del hormigón.
- El tratamiento de las fibras de cabuya con NaOH al 6% de concentración, proporciona a las fibras una mejor resistencia al ambiente alcalino del cemento, una menor humedad, menor densidad lineal, una mayor resistencia a la degradación, menor tenacidad, mayor elongación y mayor tiempo a la ruptura.
- Las fibras de cabuya tratadas con NaOH al 6% de concentración, proporcionan al hormigón, una mayor resistencia a la compresión en cilindros al séptimo día de curado que aquellos de hormigón sin fibras, sin embargo, a los 28 días, los especímenes cilíndricos de hormigón con fibras obtuvieron una menor resistencia a la compresión que aquellos de hormigón patrón, posiblemente por la porosidad de los cilindros de hormigón con fibras, la dirección de carga, o la baja tenacidad de las fibras. Esta resistencia disminuyó en promedio un 6% de concentración.
- La adición de fibras de cabuya al 0,5% de peso del agregado grueso en el hormigón inicialmente mejora la resistencia a la compresión de los cilindros, mostrando un aumento del 16% de concentración a los 7 días en comparación con el hormigón patrón. Sin embargo, esta diferencia se reduce significativamente a los 33 días, con solo un aumento del 1%. Se sugiere que aumentar la concentración de fibras podría tener un impacto más significativo en la resistencia; en este caso por el bajo porcentaje de fibra, se presentó una porosidad menos significativa y un menor impacto en la resistencia del hormigón.

- Las fibras tratadas químicamente demostraron una mejora del 35% en la resistencia a la flexión al día 28 en vigas en comparación con las de hormigón patrón, en contraste con lo observado en cilindros. Esta diferencia podría atribuirse a las distintas aplicaciones de carga en vigas y cilindros, lo que sugiere que el comportamiento mecánico del hormigón reforzado de fibras varía entre estas dos formas estructurales.
- En el ensayo a flexión la presencia de fibras de cabuya al 0,5% del agregado grueso, resultó en una mejora significativa del 35% en la resistencia a la flexión en vigas en comparación con las de hormigón patrón. En contraste, en los cilindros de prueba, se observó que la resistencia se mantuvo prácticamente constante. Esta diferencia podría atribuirse a las distintas aplicaciones de carga en vigas y cilindros, lo que sugiere que el comportamiento mecánico del hormigón reforzado con fibras varía entre estas dos formas estructurales.
- La edad de curado desempeñó un papel significativo en el incremento tanto de la resistencia a la compresión en cilindros como de la resistencia a la flexión en vigas, independientemente del tipo de hormigón utilizado. Este fenómeno podría explicarse por la presencia continua de humedad durante el tiempo de curado, lo que contribuye al mejoramiento de las propiedades mecánicas tanto de los cilindros como de las vigas. Alcanzando cerca del 99% de su máxima resistencia a los 28 días.

3.3. Recomendaciones

- Antes de realizar la dosificación, se recomienda analizar exhaustivamente las pruebas de cada agregado para garantizar la calidad del hormigón final.
- Es recomendable rechazar las arenas con un alto contenido orgánico e impurezas, porque influye negativamente en las propiedades mecánicas del hormigón.
- Es fundamental comparar las propiedades físicas de las fibras tratadas con diferentes concentraciones de hidróxido de sodio (NaOH) para seleccionar la opción más adecuada para su incorporación en las mezclas de hormigón en estudios y proyectos futuros.
- El tratamiento de las fibras de cabuya con hidróxido de sodio debe llevarse a cabo con todas las medidas de seguridad necesarias y bajo la supervisión de profesionales capacitados, dado que el NaOH es un reactivo corrosivo que puede representar un riesgo de accidentes. Además, el agua residual resultante del tratamiento debe ser almacenada adecuadamente debido a su contaminación.

4. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aguirre Merino, C. P., Jarrín Zambrano, G. S., Guilcapi Pacheco, E. D., Montenegro Ocaña, F. R. (2023). Cabuya (*Furcraea andina*, Asparagaceae): una persistencia biocultural para la reproducción del ser social Puruhá en la microcuenca del Río Guano (Andes Ecuatorianos). *Acta Botánica Mexicana*, 120 (e2194): 1-22.
- American Concrete Institute. (2002). ACI 544. 1R-96. *Report on Fiber Reinforced Concrete*. Recuperado de: <http://indiafiber.com/Files/ACI%20report.pdf>
- American Concrete Institute. (2014). *Requisitos de Reglamnto para Hormigón Estructural (ACI 318 S-14)*. Recuperado de: https://civilshare.files.wordpress.com/2016/07/aci_318s_14_en_espanol.pdf
- American Concrete Institute. ACI 211.1. Standard practice for selecting proporciones for Normal Heavyweight and Mass Concrete. Recuperado de: <https://pdfcoffee.com/aci-2111-91-norma-4-pdf-free.html>
- American Society for Testing and Materials. (1998) *ASTM D 570. Método de prueba estándar para la absorción de agua de plásticos*. Recuperado de: <https://pdfcoffee.com/norma-astm-d570-prueba-de-humedad-3-pdf-free.html>
- American Society for Testing and Materials. (2002) *ASTM D 2256-02. Standard test method for tensile properties of yarns by sigle-strand method*. Recuperado de: <https://yiqi-oss.oss-cn-hangzhou.aliyuncs.com/aliyun/technology/187902/71314.pdf>
- American Society for Testing and Materials. (2003) *ASTM 31/C 31M – 03ª Práctica Normalizada para la preparación y curado en obra de las probetas para ensayo del hormigón*. Recuperado de: <https://pdfcoffee.com/astm-c-31-4-pdf-free.html>
- American Society for Testing and Materials. (2018). *ASTM C127. Standard Test Method for density, relative density (Specific Gravity), and absorption of Coarse Aggregate*. Recuperado de: <https://pdfcoffee.com/astm-c-127-4-pdf-free.html>
- American Society for Testing and Materials. (2019). *ASTM C 117. Materials finer than 75 μm (NO. 200) sieve in Mineral Aggregates by Washing*. Recuperado de: <https://www.ccil.com/wp-content/uploads/2020/04/ASTM-C117-17-Aug-2019.pdf>
- American Society for Testing and Materials. (2020) *ASTM C 136. Standard Test Method for sieve análisis of fine and coarse aggregates*. Recuperado de: <https://infinitalab.com/concrete/astm-c136-standard-test-method-for-sieve-analysis-of-fine-and-coarse-aggregates/>

- American Society for Testing and Materials. *ASTM C128. Método de prueba estándar para densidad, densidad relativa (gravedad específica), y absorción del agregado fino*. Recuperado de: <https://pdfcoffee.com/astm-c128-3-pdf-free.html>
- American Society for Testing and Materials. *ASTM C131. Método de Ensayo Normalizado para la resistencia a la degradación de los áridos gruesos de tamaño pequeño por el método de abrasión e impacto en la Máquina de Los Ángeles*. Recuperado de: <https://pdfcoffee.com/astm-c-131-01doc-pdf-free.html>
- American Society for Testing and Materials. *ASTM C187. Standard Test Method for amount of wáter required for normal consistency of Hydraulic Cement Paste*. Recuperado de: <https://pdfcoffee.com/-norma-astm-c-187-pdf-free.html>
- American Society for Testing and Materials. *ASTM C188. Método de prueba estándar para determinar la densidad del cemento hidráulico*. Recuperado de: <https://pdfcoffee.com/norma-astm-c-188-7-pdf-free.html>
- American Society for Testing and Materials. *ASTM C29. Método de ensayo normalizado para determinar la densidad aparente ("peso unitario") e índice de huecos en los áridos*. Recuperado de: <https://pdfcoffee.com/astm-c29-peso-unitario-pdf-free.html>
- American Society for Testing and Materials. *ASTM C33. Especificación estándar para agregados para hormigón*. Recuperado de: <https://pdfcoffee.com/astm-c33-03-espaol-5-pdf-free.html>
- American Society for Testing and Materials. *ASTM C40. Método de Prueba Estándar para las impurezas orgánicas en Agregados Finos para Hormigón*. Recuperado de: https://www.cesmec.cl/medios/DIC/normas/ASTM_C40_11_corregida.pdf
- American Society for Testing and Materials. *ASTM C78. Método de ensayo normalizado para determinar la resistencia a la flexión del hormigón (Usando una viga simple con carga en los tercios)*. Recuperado de: <https://pdfcoffee.com/astm-c-78-02-3-pdf-free.html>
- Caballero Caballero, M., Silva Santos, L., Montes Bernabé, J. L. (2010). Resistencia Mecánica del adobe compactado incrementada por bagazo de agave. *Memorias del XVI Congreso Internacional Anual de la Somim*. Nuevo León, México. Recuperado de: https://somim.org.mx/memorias/memorias2010/A3/A3_221.pdf
- Carrera Morales, M., Galán Saucó, V., González Torres, F., Hidalgo Fernández-Cano, L., Maroto Borrego, J. V., Mateo Box, J. M., et al. (2005). *Prontuario de agricultura*. Madrid: EDICIONES MUNDI-PRENSA. 976 p. Recuperado de:

[https://www.google.com.ec/books/edition/Prontuario_de_agricultura_Cultivos_a](https://www.google.com.ec/books/edition/Prontuario_de_agricultura_Cultivos_a_gr%C3%AD/Glts8S4zuWAC?hl=es-)
[gr%C3%AD/Glts8S4zuWAC?hl=es-](https://www.google.com.ec/books/edition/Prontuario_de_agricultura_Cultivos_a_gr%C3%AD/Glts8S4zuWAC?hl=es-419&gbpv=1&dq=sisal+taxonom%C3%ADa&pg=PA463&printsec=frontcover)

[419&gbpv=1&dq=sisal+taxonom%C3%ADa&pg=PA463&printsec=frontcover](https://www.google.com.ec/books/edition/Prontuario_de_agricultura_Cultivos_a_gr%C3%AD/Glts8S4zuWAC?hl=es-419&gbpv=1&dq=sisal+taxonom%C3%ADa&pg=PA463&printsec=frontcover)

- Cevallos, O. A., Almache, C., & Tapia, D. (2017). Reforzamiento de elementos de hormigón armado con materiales compuestos de mortero y fibras de sisal. *III Congreso Internacional Educación Contemporánea, calidad y Buen vivir*, 624-635. Recuperado de: https://www.researchgate.net/profile/Carmen-Leon-Ortiz/publication/363885257_El_museo_como_espacio_de_generacion_de_aprendizaje_e_investigacion_caso_museo_de_la_Concepcion_de_la_Ciudad_de_Riobamba/links/6333568013096c2907d43be9/El-museo-como-espacio-de-generacion-de-aprendizaje-e-investigacion-caso-museo-de-la-Concepcion-de-la-Ciudad-de-Riobamba.pdf#page=624
- Copley, S. J. (2006). Asbestosis. En: *Imaging of occupational and environmental disorders of the chest* (págs. 207-221). Berlín, Heidelberg: Springer Berlín Heidelberg. Recuperado de: <http://eknygos.lsmuni.lt/springer/215/207-221.pdf>
- Criollo, H., Benítez, H., Morillo E. (2011). Generación de una alternativa biotecnológica para la masificación *in vitro* para agaves con potencial económico en el Ecuador. *VIII Simposio Internacional de Recursos Genéticos de América Latina y el Caribe SIRGEALC*. Quito: Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias (INIAP). Recuperado de: <https://repositorio.iniap.gob.ec/bitstream/41000/3306/1/iniapscCD72g.pdf>
- Cyras, V. P. (2001). Relación Estructura, propiedades y procesamiento del material compuesto biodegradable obtenido a partir de policaprolactona/almidón y fibra sisal. *Asociación Argentina de Materiales*. Recuperado de: https://ri.conicet.gov.ar/bitstream/handle/11336/99816/CONICET_Digital_Nro.809dc1a0-5d96-40ba-8fe1-fec256c5047e_A.pdf?sequence=2
- Francklin, H. M., Motta, L. A. C., Cunha, J., Santos, A. C., Landim, M. V. (2019). Study of epoxy composites and sisal fibers as reinforcement of reinforced concrete structure. *Revista Ibracon de Estruturas e Materiais*, 12(2): 255-287. <http://dx.doi.org/10.1590/S1983-41952019000200004>
- Fuentes Rojas, C., & Acosta Sullcahuamán, J. (2006). Estudio de materiales compuestos de cemento, papel reciclado, quitosano y fibra de sisal para la fabricación de calaminas y paneles utilizados en la construcción de viviendas económicas. *V Congreso Anual de Ingeniería ASME USB 2006*. AUSB2006-070101. Recuperado de: https://www.researchgate.net/profile/Carlos-Fuentes-17/publication/266403226_AUSB2006-070101_ESTUDIO_DE_MATERIALES_COMPUESTOS_DE_CEMENTO_PAP

EL_RECICLADO_QUITOSANO_Y_FIBRA_DE_SISAL_PARA_LA_FABRICACION_DE_CALAMINAS_Y_PANELES_UTILIZADOS_EN_LA_CONSTRUCCION_DE_VIVIENDAS_ECONOMICAS/links/54327c270cf225bddcc7a5b7/AUSB2006-070101-ESTUDIO-DE-MATERIALES-COMPUESTOS-DE-CEMENTO-PAPEL-RECICLADO-QUITOSANO-Y-FIBRA-DE-SISAL-PARA-LA-FABRICACION-DE-CALAMINAS-Y-PANELES-UTILIZADOS-EN-LA-CONSTRUCCION-DE-VIVIENDAS-ECONOMICA.pdf

- Guo, Y., Xiang, K., Wang, H., Liu, X., Ye, Q., & Wang, X. (2023). Experimental study on self-healing and mechanical properties of sisal fiber-loaded microbial concrete. *Materials Research Express*, 10: 045701.)
<https://doi.org/10.1088/2053-1591/acc718>
- Hibbeler, R. C. (2006). *Mecánica de Materiales*. Sexta ed. México: Pearson Education, Prentice Hall. Recuperado de: https://www.google.com.ec/books/edition/Mecanica_de_Materiales/iCBye0_IEXsC?hl=es-419&gbpv=1&dq=flexi%C3%B3n+vigas&pg=PA263&printsec=frontcover
- HOLCIM. (2022). *Cemento Holcim Fuerte*. Recuperado de: <https://www.holcim.com.ec/sites/ecuador/files/2022-07/ficha-holcim-fuerte.pdf>
- Iniya, M. P., & Nirmalkumar, K. (2021). A review on fiber reinforced concrete using sisal fiber. *Materials Science and Engineering*, 1055: 012027. doi:10.1088/1757-899X/1055/1/012027
- Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEN). (2011). *NTE INEN 872. Áridos para hormigón. Requisitos*. Recuperado de: <https://www.studocu.com/ec/document/universidad-estatal-peninsula-de-santa-elena/ingenieria-economica/normas-inen-872-535667/6343647>
- Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEN). (2011). *NTE INEN 862. Áridos para hormigón. Determinación del contenido total de humedad*.
- Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEN). (2012). *NTE INEN 152. Cemento Portland. Requisitos*. Recuperado de: <https://drive.google.com/file/d/1Yy599Nqcm-OQRpaTS1vOOIXomvPB1T50/view?pli=1>
- Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEN). (2014). *NTE INEN 1108. Agua Potable. Requisitos*. Recuperado de: <https://www.insistec.ec/images/insistec/02-cliente/07-descargas/NTE%20INEN%201108%20-%20AGUA%20POTABLE.%20REQUISITOS.pdf>

- Instituto Ecuatoriano de Normalización. (2010). *NTE INEN 695. Muestreo de Áridos en un almacenamiento o desde las unidades de transporte*. Recuperado de:
<https://archive.org/details/ec.nte.0695.2010/page/n7/mode/1up?view=theater>
- Instituto Ecuatoriano de Normalización. (2010). *NTE INEN 856. Áridos. Determinación de la densidad, densidad relativa (gravedad específica) y absorción del árido fino*. Recuperado de:
<https://archive.org/details/ec.nte.0856.2010/page/n2/mode/1up?view=theater>
- Instituto Ecuatoriano de Normalización. (2010). *NTE INEN 857. Áridos. Determinación de la densidad, densidad relativa (gravedad específica) y absorción del árido grueso*. Recuperado de:
<https://ia902907.us.archive.org/27/items/ec.nte.0857.2010/ec.nte.0857.2010.pdf>
- Instituto Ecuatoriano de Normalización. (2010). *NTE INEN 858. Áridos. Determinación de la masa unitaria (peso volumétrico) y el porcentaje de vacíos*. Recuperado de:
<https://archive.org/details/ec.nte.0858.2010/page/n2/mode/1up?view=theater>
- Juárez, C., Valdez, P., & Durán, A. (2004). Fibras naturales de lechuguilla como refuerzo en materiales de construcción. *Revista Ingeniería de Construcción*, 19(2): 83-92.
- Lamus Báez, F., Andrade Pardo, S. (2015). *Hormigón Reforzado. Fundamentos*. Bogotá: Ecoe Ediciones. Recuperado de:
https://www.google.com.ec/books/edition/Hormigón_reforzado/PcS4DQAAQBAJ?hl=es-419&gbpv=1&dq=propiedades+mec%C3%A1nicas+hormig%C3%B3n&printsec=frontcover
- León, J. (1968). *Fundamentos botánicos de los cultivos tropicales*. San José: INSTITUTO INTERAMERICANO DE CIENCIAS AGRÍCOLAS DE LA OEA (IICA). 487 p. Recuperado de:
https://www.google.com.ec/books/edition/Fundamentos_botanicos_de_los_cultivos_tr/gJiVVBk-vWMC?hl=es-419&gbpv=1&dq=sisal+taxonom%C3%ADa&pg=PR7&printsec=frontcover
- Medina Sánchez, E. (2008). *Construcción de estructuras de hormigón armado: Edificación*. Segunda ed. Madrid: DELTA PUBLICACIONES. 267 p. Recuperado de:
https://www.google.com.ec/books/edition/Construcci%C3%B3n_de_la_Estruktur

ade_Hormigon/YOcpsolSVBoC?hl=es-419&gbpv=1&dq=fibras+de+sisal+en+hormig%C3%B3n&pg=PA248&printsec=frontcover

- Mott, R. L. (2006). *Diseño de Elementos de Máquinas*. Cuarta ed. México: Pearson Education. Recuperado de: https://www.google.com.ec/books/edition/Machine_Elements_in_Mechanical_Design/nrYd_BjTL0UC?hl=es-419&gbpv=1&dq=deflexi%C3%B3n+vigas&pg=PA108&printsec=frontcover
- Ordoñez Viñan, M. A., Arcos Logroño, J., Ibañez Moreno, W., & Cazar Rivera, S. (2019). Caracterización del Mortero Compuesto con fibras de cabuya obtenidas en la ciudad de Riobamba. *Herramientas Tecnológicas*, 3(3): 33-48. <https://doi.org/10.33262/cienciadigital.v3i3.610>
- Paricaguán, B., Albano, C., Palacios, J., Torres, R., Camacho, N., Infante, J, et al. (2013). Degradación térmica de fibras de coco con tratamiento químico provenientes de mezclas de hormigón (estudio cinético). *Revista Ingeniería UC*, 20(2): 60-67. Recuperado de: <https://www.redalyc.org/pdf/707/70732655008.pdf>
- Perles, P. (2005). *Hormigón armado*. Buenos Aires: NOBUKO. Recuperado de: https://www.google.com.ec/books/edition/Hormig%C3%B3n_armado/4fLpxffkb90C?hl=es-419&gbpv=1&dq=Hormig%C3%B3n&pg=PA54&printsec=frontcover
- Rodríguez, L., Fanguero, R., & Orrego, C. (2015). Efecto de tratamientos químicos y de plasma DBD en las propiedades de fibras del seudotallo de plátano. *Revista Latinoamericana de Metalurgia y Materiales*, 35(2): 295-304. Recuperado de: https://ve.scielo.org/scielo.php?pid=S0255-69522015000200016&script=sci_arttext
- Ruano, G., Oller, S., Nallim, L. G., & Vera, J. (2017). Modelo numérico para el análisis del comportamiento de materiales cementicios reforzados con fibras naturales. *Mecánica Computacional*, 35: 1977-1988. Recuperado de: <http://venus.ceride.gov.ar/ojs/index.php/mc/article/viewFile/5413/5379>
- Salazar Trujillo, J. E. (2007). *Resistencia de materiales Básica para Estudiantes de Ingeniería*. Manizales: Universidad Nacional de Colombia Sede Manizales. Recuperado de: https://www.google.com.ec/books/edition/Resistencia_de_Materiales_Basica_Para_Es/djdwCR7ZEwsC?hl=es-419&gbpv=1&dq=flexi%C3%B3n+vigas&pg=PA101&printsec=frontcover
- Santiago A., D. I., Rodríguez de García, N. & Mogollón, G. (2002). Potencial Papelero de la fibra de sisal (Agave sisalana). *Revista Forestal Venezolana*, 46

(2): 19-27. Recuperado de:

https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/82409165/articulo2-libre.pdf?1647808624=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DPOTENCIAL_PAPELERO_DE_LA_FIBRA_DE_SISAL.pdf&Expires=1702582468&Signature=Olhgw4apHp5hxfZpTZMeOVzZBb8Bg5LUWhLH9I2CBUmZrgpZpnCZInCQcDmnc4FRa1JCxPrtTnAxfuASUX6aKe5jyiORxAZ9VoTI4yz0edt2M3auGSQUAaDWGn3IJJaGTKVpiU98cxWUBd8nYLvbX8~Mg7HXvb5x2YCIhk6vACiF2FFvAvWNeqTBnHmvzByzGX5iWmWvnUxqTJ~ViyBqAWx4tGrFVLYQM3MSIUdt9K~LdbZXJGga7pKCB9kmc~qOUTOQe7uchB9sGcxkv0T7PuiFOoaFOzZF6VDO-AqCTYyT6XeJQvmO~rcLEYI8E2Ras4~YCovrWkWLxIE-wTcvXCQ__&Key-Pair-Id=APKAJLOHF5GGSLRBV4ZA

- Sierra, G., Mera, W., & Jonkers, H. (2015). Hormigón autorreparable con bacterias y reforzado con fibras naturales: Principios y aplicaciones en Ecuador. *Alternativas*, 17(3): 207-214. <http://dx.doi.org/10.23878/alternativas.v17i3.229>
- Universidad Centroamericana “José Simeon Cañas”, UCA. (s.f.). *Densidad, densidad relativa (Gravedad específica) y absorción del agregado fino*. Recuperado de: <https://www.uca.edu.sv/mecanica-estructural/materias/materialesCostruccion/guiasLab/ensayoAgregados/Densidad%20gravedad%20especifica%20y%20absorcion%20de%20agregados%20finos.pdf>
- Universidad Centroamericana “José Simeon Cañas”, UCA. (s.f.). *Determinación de la consistencia normal del cemento Portland*. Recuperado de: <https://www.uca.edu.sv/mecanica-estructural/materias/materialesCostruccion/guiasLab/ensayoCemento/CONSISTENCIA%20NORMAL%20DEL%20CEMENTO%20PORTLAND.pdf>
- Viera, P., Morillo, D., & Parion, J. (2022). Influencia de fibras naturales y sintéticas en la permeabilidad de morteros de cemento-arena, y cemento, cal y arena. *FIGEMPA: Investigación y Desarrollo*, 13(1), 59-69. Recuperado de: http://scielo.senescyt.gob.ec/scielo.php?pid=S2602-84842022000300059&script=sci_arttext
- Vinay Kumar, S., Yashasvi, G. V., & Sudarshan, S. K. (2022). Study of sisal fibre reinforced concrete in lintels. *Sustainability, Agri, Food and Environmental Research*, 10(10): 1-6. ISSN: 0719-3726 <http://dx.doi.org/>
- Winter, G., & Nilson, A. H. (2021). *Proyecto de estructuras de hormigón*. Barcelona: EDITORIAL REVERTÉ, S. A. Recuperado de: https://www.google.com.ec/books/edition/Proyecto_de_estructuras_de_hormig

%C3%B3n/3OAbEAAAQBAJ?hl=es-
419&gbpv=1&dq=Hormig%C3%B3n&pg=PA30&printsec=frontcover

5. ANEXOS

Los resultados de las pruebas de laboratorio realizadas en las fibras, cilindros y vigas serán presentados a continuación.

5.1. Anexo 1: Informe de Fibras con tratamiento y sin tratamiento



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA QUÍMICA
CENTRO TEXTIL POLITÉCNICO



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

Página 1 de 5

DEPARTAMENTO SOLICITANTE
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL DICA
Ing. Nicolay Yanchapanta
Profesor Auxiliar Tiempo Completo

MATERIAL QUE ENTREGA
Dos grupos de muestras de fibra de cabuya identificados por el cliente como:
- Fibra sin tratamiento y
- Fibra con tratamiento.

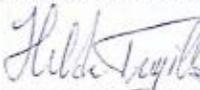
TRABAJO SOLICITADO:
Determinar tenacidad y contenido de humedad.

FECHA DE RECEPCION ORDEN DE TRABAJO: 2023 / 10/ 25

FECHA DE REALIZACIÓN DEL INFORME: 2023 / 10/ 30

NÚMERO DE ORDEN DE TRABAJO: DQ-OTI0030-2023

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: omar.honilla@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 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 pueden 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@cpn.edu.ec; hilda.tujillo@cpn.edu.ec



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



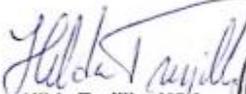
INFORME No. CTP-ITI-2023-10-02

Página 3 de 5

FIBRAS DE ABACÁ CON TRATAMIENTO

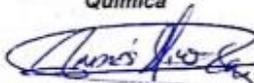
PROPIEDADES DETERMINADAS	NORMA	RESULTADOS
Contenido de humedad (%)	ASTM D4442-20	6,7 +/- 0,8

Responsable del Centro Textil


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: 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 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 [cN/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: 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 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

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@cpn.edu.ec, hilda.trujillo@cpn.edu.ec

5.2. Anexo 2: Densidad Real del Cemento



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES, MECÁNICA DE SUELOS Y ROCAS



DENSIDAD REAL DEL CEMENTO

Código de Informe: DGH-23-001-1
Fecha de Informe: 2023-10-30

Hoja 01 de 01

DATOS DEL CLIENTE

Razón social: Nayeli Yajaira Lizzy Gualcapi
Dirección: Ladrón de Guevara E11-253 y Andalucía
Teléfono: ***

DATOS DEL PROYECTO

Proyecto: Análisis del hormigón reforzado con fibras de cabuya al 0.5% con tratamiento químico
Contratante: ***
Contratista: ***
Fiscalizador: ***
NORMA: ASTM C188
FECHA DE ENSAYO: 2023-08-07

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)
007-IH-03 a	1,0	321,4	21,0	360,0	0,0	2,93
007-IH-03 b	0,5	323,0	19,9	360,4	0,0	2,97
Promedio:						2,95

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 ítems ensayados bajo las condiciones de Laboratorio. El contenido del presente informe no podrá reproducirse ni parcial ni totalmente sin la autorización del LEMSUR.



Ing. Mercedes Villacis
JEFE DE LABORATORIO (E)



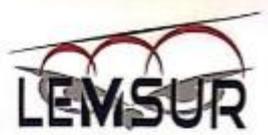
Tel.: 2976300
Ext.: 1609

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

5.3. Anexo 3: Consistencia normal del cemento



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



CONSISTENCIA NORMAL DEL CEMENTO

Código de Informe: CNC-23-001-I
Fecha de Informe: 2023-10-31

Hoja 01 de 01

DATOS DEL CLIENTE

Razón social: Nayeli Yajaira Lluay Guilcapi
Dirección: Ladrón de Guevara E11-253 y Andalucía
Teléfono: ***

DATOS DEL PROYECTO

Proyecto: Análisis del hormigón reforzado con fibras de cabuya al 0.5% con tratamiento químico
Contratante: ***
Contralista: ***
Fiscalizador: ***
NORMA : ASTM C187
FECHA DE ENSAYO: 2023-09-25

Código interno	037-I-H-03
Identificación	Cemento HOLCIM
Tipo de cemento	GU
Masa cemento	650,0 g
Masa agua	188,5 g
Valor de asentamiento	9 mm
Índice de masa	29,0 %

Observaciones:

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

Ing. Mercedes Villacis
JEFE DE LABORATORIO



5.4. Anexo 4: Ensayo de abrasión del agregado grueso



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



ENSAYO DE ABRASIÓN

Código de Informe: ABR-23-003-I

Hoja 01 de 01

Fecha de informe : 2023-10-11

DATOS DEL CLIENTE

Razón social: Nayeli Yajaira Lluay Guilcapi
 Dirección: Ladrón de Guevara E11-253 y Andalucía
 Teléfono: ***

DATOS DEL PROYECTO

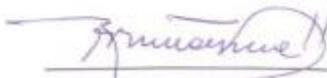
Proyecto: Análisis del hormigón reforzado con fibras de cabuya al 0,5% con tratamiento químico
 Contratante: ***
 Contratista: ***
 Fiscalizador: ***

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 Luña, MBA
 JEFE DE LABORATORIO (SUBROGANTE)



5.5. Anexo 5: Contenido orgánico arena preliminar



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



CONTENIDO ORGÁNICO

Código de Informe: CO-23-009-I

Hoja 01 de 01

Fecha de informe : 2023-10-11

DATOS DEL CLIENTE

Razón Social: Nayeli Yajaira Lluay Guilcapí
Dirección: Ladrón de Guevara E11-253 y Andalucía
Teléfono: ***

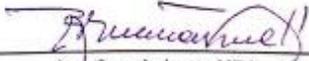
DATOS DEL PROYECTO

Proyecto: Análisis de hormigón reforzado con fibras de cabuya al 0.5% con tratamiento químico
Contratante: ***
Contratista: ***
Fiscalizador: ***
PROCEDENCIA: ***

TIPO DE MUESTRA: Agregado fino
CÓDIGO INTERNO: 037-I-H-01-d
IDENTIFICACIÓN: ***
FECHA DE ENSAYO: 2023-08-15
NORMA: ASTM C40

ENSAYO DE CONTENIDO ORGÁNICO											
	<p>Escala "Organic Color Plate"</p> <table><tr><td>1</td><td><input type="checkbox"/></td></tr><tr><td>2</td><td><input checked="" 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 type="checkbox"/>	2	<input checked="" type="checkbox"/>	3	<input type="checkbox"/>	4	<input type="checkbox"/>	5	<input type="checkbox"/>
1	<input type="checkbox"/>										
2	<input checked="" 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 ni parcial ni totalmente sin la autorización del LEMSUR.


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



5.6. Anexo 6: Densidad aparente de agregados



DENSIDAD APARENTE DE AGREGADOS

Código de Informe: DA-23-009-I
Fecha de Informe: 2023-10-11

Hoja 01 de 01

DATOS DEL CLIENTE

Razón Social: Nayeli Yajaira Luay Guicapi
Dirección: Ladrón de Guevara E11-253 y Andalucía
Teléfono: ***

DATOS DEL PROYECTO

Proyecto: Análisis del hormigón reforzado con fibras de cabuya al 0,5% con tratamiento químico
Contratante: ***
Contratista: ***
Fiscalizador: ***
PROCEDENCIA: ***

TIPO DE MUESTRA: Indicados

EJECUTA: JV

FECHA DE ENSAYO: 2023-08-09

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-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)



5.7. Anexo 7: Análisis granulométrico del agregado grueso



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



ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO

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

Hoja 01 de 01

DATOS DEL CLIENTE

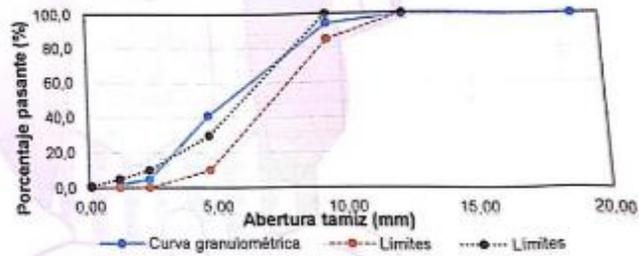
Razón social: Nayeli Yajaira Lluay Guillcapi
Dirección: Ladrón de Guevara E11-253 y Andalucía
Teléfono: ****

DATOS DEL PROYECTO

Proyecto: Análisis del hormigón reforzado con fibras de cabuya al 0.5% con tratamiento químico
Contratante: ***
Contratista: ***
Fiscalizador: ***
MUESTRA: Agregado grueso
PROCEDENCIA: ***
FECHA DE ENSAYO: 2023-08-09
NORMA: ASTM C 136, 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

5.8. Anexo 8: Análisis granulométrico del agregado fino preliminar



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



ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO

Código de Informe: GRA-23-001-I
Fecha de Informe: 2023-10-11

Hoja 01 de 01

DATOS DEL CLIENTE

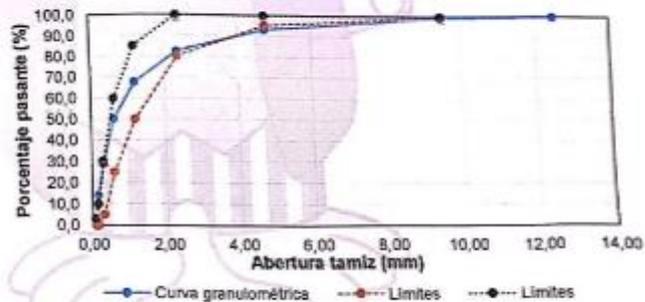
Razón social: Nayeli Yajaira Lluay Guilcapí
Dirección: Ladrón de Guevara E11-253 y Andalucía
Teléfono: ****

DATOS DEL PROYECTO

Proyecto: Análisis del hormigón reforzado con fibras de cabuya al 0.5% con tratamiento químico
Contratante: ***
Contratista: ***
Fiscalizador: ***
MUESTRA: Agregado fino
PROCEDENCIA: ***
FECHA DE ENSAYO: 2023-08-09
NORMA: ASTM C136, ASTM C33

Código interno: 037-I-H-01-a
Identificación: Agregado fino
Tamaño máximo nominal (mm): 4,75

Tamiz	Abertura de tamiz (mm)	Porcentaje Pasante (%)
1/2 in	12,50	100,0
3/8 in	9,50	99,5
N° 4	4,75	93,1
N° 8	2,36	82,3
N° 16	1,18	67,7
N° 30	0,60	50,2
N° 50	0,30	29,1
N° 100	0,15	14,0
Bandeja	-	0,0
Módulo de finura		2,6



Observaciones: La información proporcionada por el cliente, así 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)



5.9. Anexo 9: Densidad Relativa y abrasión de agregados



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



DENSIDAD RELATIVA Y ABSORCIÓN DE AGREGADOS

Código de Informe: GSA-23-009-I
Fecha de Informe: 2023-10-11

Hoja 01 de 01

DATOS DEL CLIENTE

Razón Social: Nayeli Yajaira Luay Guillacpi
Dirección: Ladrón de Guevara E11-253 y Andalucía
Teléfono: ***

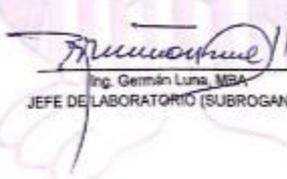
DATOS DEL PROYECTO

Proyecto: Análisis del hormigón reforzado con fibras de cabuya el 0.5% con tratamiento químico
Contratante: ***
Contratista: ***
Fiscalizador: ***
PROCEDENCIA: ***
TIPO DE MUESTRA: Indicados
NORMA: ASTM C128, 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	2,66	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.
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)



5.10. Anexo 10: Partículas menores al Tamiz No. 200 del agregado fino preliminar



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



PARTÍCULAS MENORES AL TAMIZ No. 200

Código de Informe: P200-23-001-I
Fecha de informe : 2023-10-11

Hoja 01 de 01

DATOS DEL CLIENTE

Razón social: Nayeli Yajaira Luay Guilcapi
Dirección: Ladrón de Guevara E11-253 y Andalucía
Teléfono: ***

DATOS DEL PROYECTO

Proyecto: Análisis del hormigón reforzado con fibras de cabuya al 0.5% con tratamiento químico
Contratante: ***
Contratista: ***
Fiscalizador: ***
MUESTRA: Agregado fino
PROCEDENCIA: ***
FECHA DE ENSAYO: 2023-09-06
NORMA: ASTM C117

Código interno	037-I-H-01-b
Descripción	Agregado fino
Tamaño máximo nominal (mm)	4,75
Método de ensayo	A (Lavado con agua)
Masa mínima requerida (g)	300,00
Masa seca inicial (g)	587,00
Masa seca final (g)	540,90
Material que pasa el tamiz No. 200	7,9%

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)



5.11. Anexo 11: Partículas menores al Tamiz No. 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: P200-23-002-I

Hoja 01 de 01

Fecha de informe : 2023-10-11

DATOS DEL CLIENTE

Razón social: Nayeli Yajaira Luay Guilcapi
Dirección: Ladrón de Guevara E11-253 y Andalucía
Teléfono: ***

DATOS DEL PROYECTO

Proyecto: Análisis del hormigón reforzado con fibras de cabuya al 0.5% 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)



5.12. Anexo 12: Densidad aparente arena definitiva



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



DENSIDAD APARENTE DE AGREGADOS

Código de informe: DA-24-001-I
Fecha de informe : 2024-01-24

Hoja 01 de 01

DATOS DEL CLIENTE

Razón Social: Nayeli Yajaira Luay Guilcapi
Dirección: Ladrón de Guevara E11-253 y Andalucía
Teléfono: ***

DATOS DEL PROYECTO

Proyecto: Análisis del hormigón reforzado con fibras de cabuya al 0.5% 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-I-H-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-24-001-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 Villacís
JEFE DE LABORATORIO



5.13. Anexo 13: Contenido orgánico del agregado fino definitivo



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



CONTENIDO ORGÁNICO

Código de Informe: CO-24-001-I

Hoja 01 de 01

Fecha de informe : 2024-01-23

Page 01 de 01

DATOS DEL CLIENTE

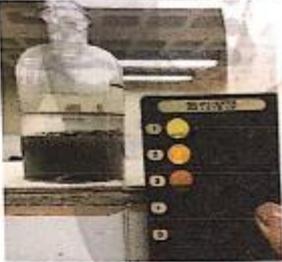
Razón Social: Nayli Yajaira Luey Guilcaspi
Dirección: Ladrón de Guevara E11-253 y Andalucía
Teléfono: ***

DATOS DEL PROYECTO

Proyecto: Análisis del hormigón reforzado con fibras de cabuya al 0.5% con tratamiento químico
Contratante: ***
Contratista: ***
Fiscalizador: ***
PROCEDENCIA: ***

TIPO DE MUESTRA: Agregado fino
CÓDIGO INTERNO: 037-I-H-04-c
IDENTIFICACIÓN: AF
FECHA DE ENSAYO: 2023-11-30
NORMA: ASTM C40

ENSAYO DE CONTENIDO ORGÁNICO

	<p>Escala "Organic Color Plate"</p> <table style="margin: auto;"><tr><td style="text-align: center;">1</td><td style="text-align: center;"><input checked="" type="checkbox"/></td></tr><tr><td style="text-align: center;">2</td><td style="text-align: center;"><input type="checkbox"/></td></tr><tr><td style="text-align: center;">3</td><td style="text-align: center;"><input type="checkbox"/></td></tr><tr><td style="text-align: center;">4</td><td style="text-align: center;"><input type="checkbox"/></td></tr><tr><td style="text-align: center;">5</td><td style="text-align: center;"><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



5.14. Anexo 14: Densidad Relativa y abrasión del agregado fino definitivo



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



DENSIDAD RELATIVA Y ABSORCIÓN DE AGREGADOS

Código de Informe: GSA-24-001-I
Fecha de Informe: 2024-01-24

Hoja 01 de 01

DATOS DEL CLIENTE

Razón Social: Nayeli Yajaira Uusay Guícapí
Dirección: Ladrón de Guevara E11-253 y Andalucía
Teléfono: ***

DATOS DEL PROYECTO

Proyecto: Análisis del hormigón reforzado con fibras de cabuya al 0.5% con tratamiento químico
Contratante: ***
Contratista: ***
Fiscalizador: ***
PROCEDENCIA: ***
TIPO DE MUESTRA: Agregado fino
NORMA: ASTM C128, NTE INEN 858
FECHA DE ENSAYO: 2023-11-30

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

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

Ing. Mercedes Vilacis
JEFE DE LABORATORIO



5.15. Anexo 15: Análisis granulométrico del agregado fino definitivo



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



ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO

Código de Informe: GRA-24-001-I
Fecha de informe : 2024-01-23

Hoja 01 de 01

DATOS DEL CLIENTE

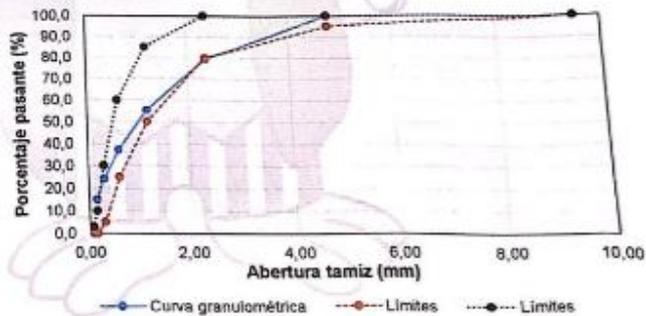
Razón social: Nayeli Yajaira Lluay Guilcapi
Dirección: Ladrón de Guevara E11-253 y Andalucía
Teléfono: ****

DATOS DEL PROYECTO

Proyecto: Análisis del hormigón reforzado con fibras de cabuya al 0.5% 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.

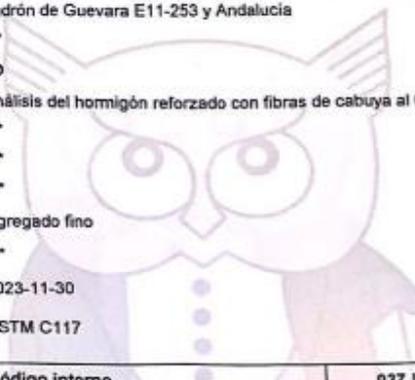
Ing. Mercedes Villacis
JEFE DE LABORATORIO



F-T-6-06

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

5.16. Anexo 16: Partículas menores al Tamiz No. 200 del agregado fino definitivo

	ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES, MECÁNICA DE SUELOS Y ROCAS																	
PARTÍCULAS MENORES AL TAMIZ No. 200																		
Código de Informe: P200-24-001-I		Hoja 01 de 01																
Fecha de informe : 2024-01-23																		
DATOS DEL CLIENTE																		
Razón social:	Nayeli Yajaira Luay Guilcapi																	
Dirección:	Ladrón de Guevara E11-253 y Andalucía																	
Teléfono:	***																	
DATOS DEL PROYECTO																		
Proyecto:	Análisis del hormigón reforzado con fibras de cabuya al 0.5% con tratamiento químico																	
Contratante:	***																	
Contratista:	***																	
Fiscalizador:	***																	
MUESTRA:	Agregado fino																	
PROCEDENCIA:	***																	
FECHA DE ENSAYO:	2023-11-30																	
NORMA:	ASTM C117																	
																		
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"><tr><td>Código interno</td><td style="text-align: center;">037-I-H-04-b</td></tr><tr><td>Descripción</td><td style="text-align: center;">Arena</td></tr><tr><td>Tamaño máximo nominal (mm)</td><td style="text-align: center;">4,75</td></tr><tr><td>Método de ensayo</td><td style="text-align: center;">A (Lavado con agua)</td></tr><tr><td>Masa mínima requerida (g)</td><td style="text-align: center;">1000,00</td></tr><tr><td>Masa seca inicial (g)</td><td style="text-align: center;">1000,50</td></tr><tr><td>Masa seca final (g)</td><td style="text-align: center;">970,80</td></tr><tr><td>Material que pasa el tamiz No. 200</td><td style="text-align: center;">3,0%</td></tr></table>			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%
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																		
																		
Dirección: Ladrón de Guevara E11-253 y Andalucía / Edif. Ing. Civil (M...)																		

5.17. Anexo 17: 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-24-001-4
Fecha de informe: 2024-01-23

Hoja 01 de 01

DATOS DEL CLIENTE

Razón social: Nivey Yajaira Lizay Guicapi
Dirección: Ladrón de Guevara E11-253 y Andacota
Teléfono: ***

DATOS DEL PROYECTO

Proyecto: Análisis del hormigón reforzado con fibras de cabuya al 0.5% 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	2023-12-05	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	2199	103,9	Tipo 2	C	23,0	3,1E-02
4	Dosificación Patrón 2	2023-12-11	2024-01-09	29	100,75	7972	2201	101,4	Tipo 2	C	22,8	3,1E-02
5	Dosificación Patrón 3	2023-12-11	2024-01-09	29	100,75	7972	2201	107,0	Tipo 2	C	24,7	3,1E-02
6	Dosificación Patrón 1	2024-01-03	2024-01-17	14	100,50	7930	2180	127,8	Tipo 5	C	16,1	2,7E-02
7	Dosificación Patrón 2	2024-01-03	2024-01-17	14	100,75	7972	2156	128,5	Tipo 4	C	16,1	2,7E-02
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 = Hongo; B = Segregación; C = Porosidad; D = Fibras protruyentes; E = Cero.

Observaciones: Todos los datos del ítem 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 ítems ensayados bajo las condiciones del Laboratorio.

U, expresada en MPa, representa la modificación porcentual de los resultados.

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

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

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

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

Ing. Mercedes Villacís

JEFE DE LABORATORIO



5.18. Anexo 18: Compresión de cilindros de hormigón con fibras de cabuya al 0,5% en peso del agregado fino



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



COMPRESIÓN DE CILINDROS DE HORMIGÓN

Código de Informe: CC-24-005-I
Fecha de Informe: 2024-01-23

Hoja 01 de 01

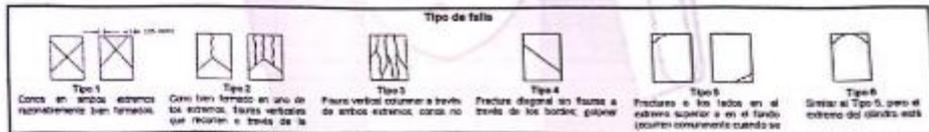
DATOS DEL CLIENTE

Razón social: Nayeli Yajaira Lluyay Guillacpi
Dirección: Ladrón de Guevara E11-253 y Andacota
Teléfono: ***

DATOS DEL PROYECTO

Proyecto: Análisis del hormigón reforzado con fibras de cabuya al 0.5% 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	Orden 037 D1	2023-12-13	2023-12-20	7	100,50	7833	2200	116,4	Tipo 2	C	14,9	1,4E-02
2	Orden 037 D2	2023-12-13	2023-12-20	7	100,75	7872	2201	111,5	Tipo 4	C	14,0	1,3E-02
3	Orden 037 D3	2023-12-15	2023-12-20	7	100,50	7833	2202	110,1	Tipo 2	C	14,9	1,4E-02
4	Orden 037 D4	2023-12-13	2024-01-15	33	100,75	7872	2201	120,5	Tipo 2	C	22,6	3,1E-02
5	Orden 037 D5	2023-12-13	2024-01-15	33	100,75	7872	2210	179,2	Tipo 2	C	22,5	3,1E-02
6	Orden 037 D6	2023-12-13	2024-01-15	33	100,50	7833	2228	205,8	Tipo 2	C	26,0	3,2E-02



Descripción de defectos: A = Ninguno; B = Segregado; C = Porosidad; D = Fibras persistentes; E = Otro

Observaciones:

Todos los datos del ítem de ensayo (fecha de fabricación, elemento, identificación) son proporcionados por el cliente por lo que revestirá 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.

(*) tipo de falla y defectos corresponde a lo especificado en la norma ASTM C39.

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

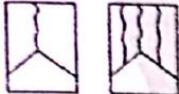
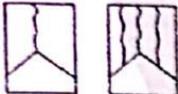
Los parámetros de las muestras escritas con (*) no se encuentran dentro de alcance de acreditación.

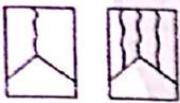
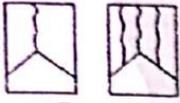
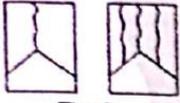
El contenido del presente informe no podrá reproducirse parcialmente sin la autorización del LEMSUR.

MG Mercedes Vilacis
JEFE DE LABORATORIO



5.19. Anexo 19: Falla a compresión de los cilindros de hormigón con fibras de cabuya al 0,5% en peso del agregado grueso.

HORMIGÓN CON FIBRAS DE CABUYA AL 0,5% EN PESO DEL AGREGADO GRUESO		
MUESTRA	FALLA	TIPO DE FALLA
7 DÍAS		
D1		<p>TIPO 2</p>  <p>Tipo 2 Como bien formado en uno de los extremos, fisuras verticales que recorren a través de la</p>
D2		<p>TIPO 4</p>  <p>Tipo 4 Fractura diagonal sin fisuras a través de los bordes; golpear</p>
D3		<p>TIPO 2</p>  <p>Tipo 2 Como bien formado en uno de los extremos, fisuras verticales que recorren a través de la</p>

33 DÍAS		
D4		<p>TIPO 2</p>  <p>Tipo 2 Cono bien formado en uno de los extremos, fisuras verticales que recorren a través de la</p>
D5		<p>TIPO 2</p>  <p>Tipo 2 Cono bien formado en uno de los extremos, fisuras verticales que recorren a través de la</p>
D6		<p>TIPO 2</p>  <p>Tipo 2 Cono bien formado en uno de los extremos, fisuras verticales que recorren a través de la</p>

5.20. Anexo 20: 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: FLEXV-23-001-I
Fecha de Informe: 2024-01-23

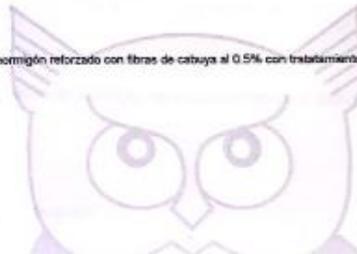
Hoja 01 de 01

DATOS DEL CLIENTE

Razón social: Nayeli Yajaira Luay Guisapi
Dirección: Ladrón de Guevara E11-253 y Andalucía
Teléfono: ***

DATOS DEL PROYECTO

Proyecto: Análisis del hormigón reforzado con fibras de catuaya al 0.5% 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	6935	2,00
2	2023-12-12	HP Viga 2	2023-12-19	7	100	102	300	7630	2,25
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 items 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.:
E

5.21. **Anexo 21:** Flexión en vigas de hormigón con fibras de cabuya al 0,5% en peso del agregado grueso.



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



FLEXIÓN EN HORMIGÓN

Código de Informe: FLEXV-23-005-I
Fecha de Informe: 2024-01-23

Hoja 01 de 01

DATOS DEL CLIENTE

Razón social: Nayeli Yajaira Luay Gulcapí
Dirección: Ladrón de Guevara E11-253 y Andalucía
Teléfono: ---

DATOS DEL PROYECTO

Proyecto: Análisis del hormigón reforzado con fibras de cabuya al 0.5% 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	2023-12-13	Orden 037-V1	2023-12-20	7	102	102	300	8867	1,85
2	2023-12-13	Orden 037-V3	2023-12-20	7	103	102	300	8640	2,40
3	2023-12-13	Orden 037-V4	2023-12-20	7	103	103	300	6580	1,80
4	2023-12-13	Orden 037-V2	2024-01-15	33	105	111	300	14070	3,45
5	2023-12-13	Orden 037-V5	2024-01-15	33	101	101	300	11620	3,40
6	2023-12-13	Orden 037-V6	2024-01-15	33	100	103	300	13111	3,80

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 Villacis
JEFE DE LABORATORIO



Telf.: 25
Ext