



UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE CUENCA

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA

Comunidad Educativa al Servicio del Pueblo

**UNIDAD ACADÉMICA DE INGENIERÍA,
INDUSTRIA Y CONSTRUCCIÓN**

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

**“ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE UN
HORMIGÓN CON FIBRAS DE VÁSTAGO DE PLÁTANO
PARA USO DE PAVIMENTOS RÍGIDOS EN LA CIUDAD
DE CUENCA”**

**PROYECTO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL
TÍTULO DE INGENIERO CIVIL**

AUTOR: JHANDRY ALEXIS ASANZA MATAMOROS

JOSELINE MICHELLE MIÑARCAJA SÁNCHEZ

DIRECTOR: ING. MSC. CESAR MALDONADO NOBOA

CUENCA - ECUADOR

2024

DIOS, PATRIA, CULTURA Y DESARROLLO



UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA

Comunidad Educativa al Servicio del Pueblo

**UNIDAD ACADÉMICA DE INGENIERÍA,
INDUSTRIA Y CONSTRUCCIÓN**

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

**“ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE UN
HORMIGÓN CON FIBRAS DE VÁSTAGO DE PLÁTANO PARA
USO DE PAVIMENTOS RÍGIDOS EN LA CIUDAD DE CUENCA”
PROYECTO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL
TÍTULO DE INGENIERO CIVIL**

AUTOR: JHANDRY ALEXIS ASANZA MATAMOROS

JOSELINE MICHELLE MIÑARCAJA SANCHEZ

DIRECTOR: ING. MSC. CESAR MALDONADO NOBOA

CUENCA - ECUADOR

2024

DIOS, PATRIA, CULTURA Y DESARROLLO

DECLARATORIA DE AUTORÍA Y RESPONSABILIDAD

Jhandry Alexis Asanza Matamoros y Joseline Michelle Miñarcaja Sánchez portadores de las cédulas de ciudadanía N.º 0706783156 y 0106110281. Declaramos ser autores de la obra: “Análisis de las propiedades mecánicas de un hormigón con fibras de vástago de plátano para uso de pavimentos rígidos en la ciudad de Cuenca”, sobre la cual nos hacemos responsables sobre las opiniones, versiones e ideas expresadas. Declaramos que la misma ha sido elaborada respetando los derechos de propiedad intelectual de terceros y eximimos a la Universidad Católica de Cuenca sobre cualquier reclamación que pudiera existir al respecto. Declaramos finalmente que nuestra obra ha sido realizada cumpliendo con todos los requisitos legales, éticos y bioéticos de investigación, que la misma no incumple con la normativa nacional e internacional en el área específica de investigación, sobre la que también nos responsabilizamos y eximimos a la Universidad Católica de Cuenca de toda reclamación al respecto.

Cuenca, 18 de marzo de 2024

F: 

Jhandry Alexis Asanza Matamoros

C.I.: 0706783156

F: 

Joseline Michelle Miñarcaja Sánchez

C.I.: 0106110281

CERTIFICACIÓN DEL DIRECTOR DE TESIS

Yo, Ing. Msc. Cesar Maldonado, certifico que el presente trabajo de titulación del Sr. Jhandry Azansa y la Srta. Michelle Miñarcaja, egresados de la UNIDAD ACADÉMICA DE INGENIERIA, INDUSTRIA Y CONSTRUCCIÓN, fue desarrollado bajo mi supervisión y tutoría con el tema **“ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES MECANICAS DE UN HORMIGÓN CON FIBRAS DE VASTAGO DE PLÁTANO PARA USO DE PAVIMENTOS RIGIDOS EN LA CIUDAD DE CUENCA”**.

F:.....

Ing. Msc. Cesar Maldonado Noboa

DOCENTE - TUTOR

DEDICATORIA

A Dios, mi guía y fortaleza en cada paso de mi vida. Tu presencia ha sido mi consuelo en los momentos de duda y mi luz en los momentos de oscuridad. Agradezco sinceramente tus innumerables bendiciones y por permitirme alcanzar este logro.

A mis amados padres, quienes han sido mi mayor inspiración y apoyo incondicional a lo largo de este camino. Gracias por su paciencia y sacrificio.

A mi querida hermana Damaris, mi compañera de vida, confidente y cómplice de inolvidables momentos compartidos, tu presencia ha llenado mi existencia de alegría y calidez. No existen palabras suficientes para expresar cuánto significas para mí y cuánto valoro ser tu hermano.

A mis adorados abuelitos, Aurita y Manuel, quienes han dejado una huella imborrable en mi corazón y han sido una fuente inagotable de amor, sabiduría y ternura a lo largo de mi vida. Este trabajo está dedicado a ustedes, como un sentido homenaje a la profunda influencia que han tenido en mi formación. Sus enseñanzas, valores y ejemplos de vida continúan guiándome y me inspiran a ser la mejor versión de mí misma.

A toda mi familia y amigos, agradezco de corazón su compañía, su apoyo incondicional y sus palabras de aliento durante esta etapa trascendental de mi vida.

Jhandry Alexis Asanza Matamoros

DEDICATORIA

A mis padres Luis Miñarcaja y Norma Sánchez, quienes han sido el motor primordial en esta etapa de mi vida, los que me han motivado para no rendirme hasta lograr mis metas y no darme por vencida. Gracias por ser una inspiración y nunca dejarme sola.

A mis hermanas, quienes también han sido parte de este proceso y han sabido como darme palabras de aliento cada vez que trataba de rendirme. Gracias por ser pacientes y nunca alejarse cuando más las necesitaba.

A mi abuelita Zoila, que me ha brindado todo su cariño y apoyo para seguir adelante. Todas sus palabras de aliento y motivación me ayudaron a ser mejor cada día de mi vida. Agradezco infinitamente su presencia que me ha llenado de felicidad en la vida.

A mi novio Pablo, por ser mi mejor amigo y confidente, por creer en mi cuando yo misma dudaba y por alentarme a seguir adelante en los momentos mas difíciles. Gracias por la paciencia y el apoyo incondicional que me has brindado, por ser esa motivación que necesitaba y por alegrarme todos los días.

A mis amigos y compañeros que estuvieron presentes en este proceso, gracias por siempre creer en mí y estar conmigo en los momentos de estrés y alegría.

Joseline Michelle Miñarcaja Sánchez

AGRADECIMIENTO

Quiero transmitir mi más profundo agradecimiento a mi estimado tutor Ing. Cesar Maldonado por su valiosa asesoría durante este trabajo de titulación.

A todos los docentes de la carrera de Ingeniería civil, deseo expresar mi reconocimiento por su compromiso y pasión al transmitir sus conocimientos. Cada clase, cada lección y cada desafío propuesto han sido oportunidades para aprender y crecer.

A la Universidad Católica de Cuenca y a todos sus colaboradores por formar parte de un proceso educativo de calidad

Jhandry Alexis Asanza Matamoros

En primer lugar, agradezco a Dios, a mis padres, hermanos y amigos, quienes han estado conmigo durante este proceso de formación académica profesional. En especial, quiero expresar mi más sincero agradecimiento a mi tutor Ing. Cesar Maldonado, quien me ha guiado en este proyecto con mucho profesionalismo. Así mismo, mi reconocimiento al Ing. Juan Monje quien desde el principio ha brindado su apoyo y conocimiento en la ejecución de los ensayos en el laboratorio de la Universidad durante la investigación de este proyecto.

Joseline Michelle Miñarcaja Sánchez

RESUMEN

El presente trabajo de investigación tiene como objetivo analizar las propiedades mecánicas que presenta el hormigón al adicionar fibras vegetales de vástago de plátano, partiendo de diferentes ensayos realizados a los agregados finos y gruesos obtenidos de la mina Rookaazul, tanto como el análisis granulométrico, porcentaje de humedad, absorción y en el caso de la grava desgaste por abrasión, ensayos que fueron realizados en el laboratorio de la Universidad Católica de Cuenca. Además, se investigó el tratamiento adecuado que se puede emplear en las fibras vegetales con el fin de eliminar las impurezas y mejorar su capacidad de adherencia, todos estos ensayos fueron fundamentales para determinar el diseño óptimo de la mezcla de hormigón.

Se realizaron un total de 24 especímenes de hormigón $f'c$ 350kg/cm², en los que incluían 12 cilindros y 12 vigas, con y sin adición de fibras de vástago de plátano, para edades de curado de 7, 14 y 28 días. Las fibras vegetales fueron incorporadas a la mezcla de hormigón en 3 porcentajes diferentes: 0.1%, 0.3% y 0.5%, en condiciones superficialmente saturado con el fin de evitar que las fibras absorban el agua de la mezcla. Para determinar las propiedades del hormigón se realizaron ensayos de resistencia a compresión y flexión, donde los resultados fueron satisfactorios con la aplicación de las fibras en mayor porcentaje demostrando un incremento en la resistencia con respecto al hormigón convencional o sin fibras.

Palabras clave: fibras, hormigón, resistencia, flexión, compresión

ABSTRACT

This research aims to analyze the mechanical properties of concrete with the addition of banana stem plant fibers based on various tests conducted on fine and coarse aggregates obtained from the Rookaazul mine, including granulometric analysis, moisture percentage, absorption, and in the case of gravel, abrasion wear tests, which were carried out in the laboratory of the Catholic University of Cuenca. In addition, the appropriate treatment that can be used on plant fibers to eliminate impurities and improve their adhesive capacity was investigated. All these tests were fundamental in determining the optimal design of the concrete mix.

Twenty-four concrete specimens of $f'c$ 350kg/cm², including 12 cylinders and 12 beams, were made with and without adding banana stem fibers for curing ages of 7, 14, and 28 days. The plant fibers were incorporated into the concrete mix in 3 different percentages, 0.1%, 0.3%, and 0.5%, under surface saturation conditions to prevent the fibers from absorbing water from the mix. In order to determine the properties of the concrete, compressive and flexural strength tests were carried out, obtaining satisfactory results with the application of fibers in higher percentages, demonstrating an increase in strength compared to conventional or concrete without fibers.

Keywords: fibers, concrete, strength, flexural, compressive

ÍNDICE DE CONTENIDOS

DECLARATORIA DE AUTORÍA Y RESPONSABILIDAD	2
CERTIFICACIÓN DEL DIRECTOR DE TESIS	3
DEDICATORIA.....	4
DEDICATORIA.....	5
AGRADECIMIENTO	6
RESUMEN.....	7
ABSTRACT.....	8
CAPITULO I.....	16
1. ANTECEDENTES.....	16
1.1. INTRODUCCION.....	16
1.2. FORMULACION DEL PROBLEMA	17
1.3. JUSTIFICACION	18
1.4. OBJETIVOS.....	18
1.4.1. OBJETIVOS GENERALES.....	18
1.4.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS.....	18
1.5. UBICACION.....	19
CAPITULO II.....	20
2. ESTADO DEL ARTE Y MARCO TEORICO	20
2.1. ESTADO DEL ARTE.....	20

	10
2.2. MARCO TEÓRICO	22
2.2.1. Materiales utilizados para hormigón	22
2.2.1.1. Agregados pétreos	23
2.2.1.2. Clasificación de los agregados	24
<i>2.2.1.2.1. Clasificación por tamaño</i>	24
<i>2.2.1.2.2. Clasificación según su origen</i>	25
<i>2.2.1.2.3. Clasificación por densidad</i>	26
<i>2.2.1.2.4. Clasificación por su textura</i>	27
2.2.1.3. Cemento Portland	27
2.2.2. Ensayo de materiales pétreos	28
2.2.2.1. Granulometría	28
2.2.2.2. Desgaste por Abrasión	31
2.2.2.3. Densidad de los agregados	32
2.2.3. Fibras naturales	33
2.2.4. Planta de plátano	36
2.2.5. Fibra de vástago de Plátano	37
2.2.6. Normativa aplicada para uso de refuerzo en el hormigón	39
2.2.7. Diseño de mezcla de hormigón	40
2.2.8. Ensayo de asentamiento (cono de Abrams)	43
2.2.9. Ensayo a compresión	45

	11
2.2.10. Ensayo a Flexión	47
CAPITULO III.....	49
3. METODOLOGIA.....	49
3.1. Tipo de investigación.....	49
3.2. Ensayos de laboratorio.....	49
3.2.1. <i>Análisis granulométrico agregado grueso</i>	50
3.2.2. <i>Análisis granulométrico agregado fino</i>	53
3.2.3. <i>Peso específico de la grava</i>	56
3.2.4. <i>Peso específico de la arena</i>	58
3.2.5. <i>Desgaste por abrasión de la grava</i>	61
3.3. Obtención de las fibras del vástago de plátano.....	64
3.4. Diseño de la mezcla de hormigón.....	68
3.4.1. Dosificación de hormigón para $f'c = 350 \text{ kg/cm}^2$ sin adición de fibras	69
3.4.2. Dosificación de hormigón para $f'c=350 \text{ kg/cm}^2$ con adición de fibras de vástago de plátano.	71
CAPITULO IV	78
4. ANALISIS DE RESULTADOS.....	78
4.1. RESULTADOS DE ENSAYO A COMPRESIÓN	78
4.2. RESULTADOS DE ENSAYO A FLEXIÓN	85
CAPITULO V.....	89

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	89
5.1. CONCLUSIONES.....	89
5.2. RECOMENDACIONES.....	91
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....	92
ANEXOS.....	99

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1: Relación a/c para mezclas sin adicciones.....	43
Ilustración 2: Molde para ensayo de asentamiento	44
Ilustración 3: Maquina de ensayo a compresión en especímenes cilíndricos de hormigón.	46
Ilustración 4: Esquema de los modelos típicos de fractura de cilindros de hormigón.	47
Ilustración 5: Esquema de un equipo apropiado para ensayos de flexión.	48
Ilustración 6: Tamizadora para agregados gruesos.	51
Ilustración 7: Curva granulométrica del agregado grueso.....	53
Ilustración 8: Tamizadora para agregado fino.	54
Ilustración 9: Curva granulométrica del agregado fino.....	56
Ilustración 10: material saturado y eliminación de la película de agua.....	57
Ilustración 11: Proceso del picnómetro para la obtención de la masa en estado S.S.S.	57
Ilustración 12: material saturado	59
Ilustración 13: Ensayo de cono truncado.	60
Ilustración 14: Ensayo del picnómetro para agregado fino.....	60
Ilustración 15: Ensayo de abrasión en la máquina de los ángeles.....	63
Ilustración 16: Tamizado de la fracción fina.....	63
Ilustración 17: Obtención de las vainas del vástago de plátano.....	65
Ilustración 18: Separación de las capas de fibras.....	66
Ilustración 19: Extracción de las fibras.....	66
Ilustración 20: Tratamiento de las fibras de vástago de plátano con hidróxido de cal.....	68
Ilustración 21: Pesaje de material para elaboración del hormigón sin fibras.....	70
Ilustración 22: Ensayo de asentamiento del hormigón fresco.....	71

Ilustración 23: Corte y pesaje de las fibras.	73
Ilustración 24: Cantidades de materiales y fibra a incorporar en la mezcla de hormigón.	74
Ilustración 25: Proceso y vaciado de la mezcla de hormigón.	75
Ilustración 26: Elaboración de vigas de hormigón con adición de fibras de vástago de plátano.	75
Ilustración 27: Elaboración de cilindro de hormigón con adición de fibras de vástago de plátano.	76
Ilustración 28: Curado de los especímenes.	77
Ilustración 30: Cilindro con el 0.3% de fibras.	78
Ilustración 31: Cilindro con el 0.5% de fibras.	78
Ilustración 29: Cilindro con el 0.1% de fibras.	78
Ilustración 32: Curva Esfuerzo-Deformación del hormigón sin adición de fibras a los 7, 14 y 28 días.	80
Ilustración 33: Curva Esfuerzo-Deformación del hormigón con adición de 0.1% fibras de plátano a los 7, 14 y 28 días.....	81
Ilustración 34: Curva Esfuerzo-Deformación del hormigón con adición de 0.3% fibras de plátano a los 7, 14 y 28 días.....	82
Ilustración 35: Curva Esfuerzo-Deformación del hormigón con adición de 0.5% fibras de plátano a los 7, 14 y 28 días.....	83
Ilustración 36: Curva Esfuerzo-Deformación del hormigón sin fibras, con el 0.1%, 0.3% y con el 0.5%, luego de 28 días.	84
Ilustración 37: Marcación y ensayo de las vigas.....	85
Ilustración 38: Rotura en el tercio medio de la luz de la viga de hormigón.....	86
Ilustración 39: Resistencia a flexión en vigas.	88

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Clasificación de los agregados según su tamaño.	25
Tabla 2: Clasificación de los agregados según su densidad.....	27
Tabla 3: Gradación del árido fino.	29
Tabla 4: Requisitos de gradación para áridos gruesos.	30
Tabla 5: Gradación de las muestras de ensayo.	32
Tabla 6: Características mecánicas de varios tipos de fibras naturales.....	35
Tabla 7: Cantidad de agua en kgf por metro cubico de hormigón.....	42
Tabla 8: Análisis granulométrico del agregado grueso.	52
Tabla 9: Análisis granulométrico del agregado fino.....	54
Tabla 10: Datos obtenidos por el método del picnómetro.	58
Tabla 11: Datos obtenidos por el método del picnómetro en el agregado fino	61
Tabla 12: Granulometrías representativas de los agregados, para selección del método a usar..	62
Tabla 13: Datos obtenidos de los ensayos de laboratorio para el diseño del hormigón.	69
Tabla 14: Dosificación por m ³ de hormigón.	69
Tabla 15: Dosificaciones finales de la mezcla de hormigón con 0.1%, 0.3% y 0.5% de fibras de vástago de plátano.....	72
Tabla 16: Resultados del ensayo a compresión en cilindros a los 7,14 y 28 días.....	79
Tabla 17: Resultados del ensayo a flexión en vigas a los 28 días.	87

CAPITULO I

1. ANTECEDENTES

1.1.INTRODUCCION

Hoy en día los pavimentos rígidos han sido una opción factible, debido a su resistencia, durabilidad, y serviciabilidad en los años siguientes a la construcción, es por ello que se desarrollan nuevas técnicas, usos de materiales alternativos, con el fin de evaluar el comportamiento del mismo frente a cargas actuantes y así mejorar su calidad. En este trabajo previo a la obtención del título de ingeniería civil se pretende realizar un análisis de la resistencia mecánica de un pavimento rígido con refuerzo de fibras naturales de vástago de plátano, así mismo se realizará una comparación técnica de las propiedades mecánicas entre un pavimento convencional y un pavimento rígido con refuerzo de fibras naturales.

En la actualidad la construcción de vías es una de las obras de la ingeniería civil que genera un gran consumo de recursos irreformables, por ese motivo se busca poder implementar el uso de materiales renovables como lo es el vástago del plátano. El desarrollo sostenible puede lograrse mediante la utilización de materiales sin procesar y fuentes de energía sostenibles, reduciendo la cantidad de materiales y energía que se gastan en la adquisición de los recursos naturales (Martín Sendra, 2021).

El uso de fibras naturales como lo es el vástago de plátano como refuerzo en el pavimento rígido es una técnica que busca mejorar las propiedades mecánicas del material. Las fibras naturales pueden tener propiedades como alta resistencia a la tracción, baja densidad y buena adhesión a la matriz del pavimento, lo que podría resultar en un aumento a la resistencia y durabilidad del pavimento (David Armas et al., 2016)

Este proyecto de titulación tiene como base determinar las propiedades mecánicas del hormigón convencional frente a un hormigón con adición de fibras de plátano, para el cual se realizan diferentes pruebas de resistencia como son la prueba a compresión y flexión en ambos tipos de hormigón, que proporcionarán datos cuantitativos sobre la resistencia y el comportamiento mecánico de cada tipo de hormigón, lo que permitirá realizar una comparativa técnica al adicionar las fibras de vástago de plátano. Además, se realizará la caracterización de los materiales a utilizar en la mezcla, estos se llevarán a cabo en el laboratorio de la Universidad Católica de Cuenca, donde los ensayos a realizar serán: análisis granulométrico, densidad, peso específico y abrasión.

1.2.FORMULACION DEL PROBLEMA

No se puede negar que uno de los principales problemas para la creación de pavimentos, tanto rígidos como flexibles es la escasez de materiales primarios para la elaboración de los mismos, esto es un tema muy importante ya que por esta causa los materiales suben de precio y esto tiene gran importancia en el tema económico. Por este motivo se busca poder crear pavimentos con mayor resistencia, más duraderos y más económicos tanto en el momento de crearlos como en la operación y mantenimiento (Márquez, 2001).

Los hormigones convencionales suelen tener una gran variedad de problemas que ocasionan fallas en los pavimentos según Godoy y Ramírez (2006) estos problemas suelen ser de orden funcional o estructural. Este tipo de fallas suelen ser deterioros en las juntas, agrietamientos y deterioros superficiales, este tipo de fallas en los pavimentos tienen una gran afección tanto en la manera social como económica (Godoy & Ramírez 2006).

1.3.JUSTIFICACION

La presente investigación busca la utilización de materiales que aporten estructuralmente al hormigón, mejorando las características mecánicas, sin que esto implique el aumento de costos de producción. El problema se basa en que el consumo continuo de materiales de la corteza terrestre se va agotando, es nuestra obligación buscar materiales alternativos que aporten a lograr cumplir los objetivos de desarrollo sostenible.

La búsqueda de materiales alternativos para la construcción es esencial para mitigar el impacto ambiental del sector de la construcción. Se espera que estos materiales alternativos no solo mejoren las características mecánicas del hormigón, sino que también reduzcan la cantidad de emisiones de dióxido de carbono generadas durante su producción.

En definitiva, esta investigación aporta a fortalecer los conocimientos del uso y mejora de materiales alternativos que permitan buscar proyectos para el sector de la construcción más sustentables, que busquen poder ayudar a las generaciones futuras con el uso de nuevas tecnologías y materiales que reduzcan el impacto del continuo desarrollo de proyectos.

1.4.OBJETIVOS

1.4.1. OBJETIVOS GENERALES

El estudio de las propiedades mecánicas del hormigón con fibras de vástago de plátano para pavimentos rígidos en Cuenca.

1.4.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Caracterizar los materiales granulares de la mina Rookaazul para el diseño de hormigones para uso de pavimentos rígidos.

- Determinar las características idóneas del vástago de plátano para uso en hormigones.
- Diseñar un hormigón con resistencia de $f'c = 350 \text{ kg/cm}^2$
- Comparar las propiedades mecánicas entre un hormigón convencional para pavimento rígido y hormigón con refuerzo de fibras naturales de vástago de plátano.

1.5.UBICACION

Para llevar a cabo este proyecto, es esencial comprender los distintos materiales, incluyendo su origen, método de extracción, y características mecánicas. En este estudio comenzará con la utilización de grava de tamaño máximo $\frac{3}{4}$ de pulgada y arena fina, materiales que fueron obtenidos de la sociedad minera Rookaazul, provenientes del cantón Paute. Además, el cemento utilizado para la elaboración del hormigón será adquirido en la ciudad de Cuenca. La ubicación exacta de la minera Rookaazul se encuentra en la vía Panamericana Norte con coordenadas: Este: 735915.64 m y Norte: 9686070.78 m

Cabe mencionar que todos los ensayos de laboratorio se van a realizar en el centro de innovación investigación y transferencia de tecnología “CIITT” que se encuentra ubicado en la parroquia de Ricaurte.

CAPITULO II

2. ESTADO DEL ARTE Y MARCO TEORICO

2.1.ESTADO DEL ARTE

El hormigón para uso de pavimento rígido regularmente es de concreto simple o a su vez puede ser de refuerzo continuo, es decir que esta reforzado con barras longitudinales de acero, las cuales proporcionan resistencia y ductilidad a la capa de concreto, en este tipo de pavimento es importante diseñar las juntas de acero que serán colocadas y controlar que el espaciamiento de las grietas sea el mínimo, además de verificar que los niveles de esfuerzo estén dentro de los límites para garantizar el buen desempeño del pavimento (Fabricio et al., 2014).

Según (Mendoza et al., 2012), las fibras naturales pueden desempeñar un papel significativo como refuerzo secundario en el hormigón. Su inclusión controla el proceso de fisuración, lo que resulta en un aumento notable de la resistencia a flexo tracción y la tenacidad. Además, se observan mejoras en las características relacionadas con la resistencia a cargas dinámicas y al corte. Uno de los principales objetivos al incorporar estas fibras es reducir los costos de producción y minimizar el peso del material. Esto las convierte en uno de los materiales más sostenibles en el ámbito de la construcción, ya que su obtención no produce emisiones de gases perjudiciales para el medio ambiente ni supone riesgos para los trabajadores.

Estas fibras no solo aportan resistencia ante deformaciones, sino que también exhiben una notable ductilidad, lo que les permite soportar cargas dinámicas o impactos. En la mayoría de los casos, estas propiedades resultan favorables. Sin embargo, es importante destacar que las fibras naturales tienen una tendencia a absorber agua, llegando a absorber hasta el 99% de su contenido

durante la inmersión. Esto puede ocasionar variaciones en el volumen y el peso, lo cual puede afectar su resistencia mecánica (Enciso et al., 2017).

El hormigón presenta una resistencia a tracción muy baja por lo que se ha buscado mejorar sus propiedades mecánicas, uno de los métodos que plantea (El-Nadoury, 2020) en su investigación es la adición de fibras de plátano. Con el que pudo afirmar que al agregar estas fibras se pudo mejorar la resistencia a la tracción, fatiga, tenacidad y ductilidad, pese a que no se eliminan la formación de grietas, disminuyen la propagación de ellas, permitiendo que las fibras absorban algunos esfuerzos y dando como resultado un agrietamiento uniforme. Algunos estudios realizados evalúan el porcentaje óptimo de fibra de plátano para que el hormigón alcance su máxima resistencia a compresión y tracción. Según las investigaciones realizadas por (Chairunnisa et al., 2022), acerca de los efectos de la fibra de plátano, logro determinar que adicionando un 0.5% de fibra vegetal se aumentaba la resistencia a compresión hasta un 14 % comparada con un hormigón normal, por otra parte, también determinó, que si le aumentaba el porcentaje de fibra la resistencia disminuye, talvez no drásticamente, pero puede llegar a fallar con la carga mínima.

Otro estudio que comprende el tema abordado es el de (Baquerizo & Lazo, 2019), donde mediante investigaciones y ensayos, determinaron que al incorporar porcentajes de 0.5% y 1% de fibra de plátano al concreto la resistencia a flexión presentaba un aumento del 4.67% y 8.01% respectivamente, y de igual manera la resistencia a compresión presentaba porcentajes positivos del 3.2% y 5.08% respectivamente, en contraste con el hormigón convencional, del cual se puede afirmar que el 1% de fibras incorporadas en la mezcla benefician de manera significativa a las propiedades del concreto endurecido.

Como sostiene (Romero & Vega, 2019), en su tesis sobre los efectos de las diferentes cantidades de fibra de vástago de plátano en el concreto para pavimentos, después de haber

realizado los ensayos determinó que al agregar fibras naturales el concreto tuvo una mejora del 20% en cuanto a la resistencia comparada con la de un concreto convencional, por otra parte, también mencionó que las fibras pueden llegar a ser aprovechables hasta un 87%. Un dato importante es la cantidad de fibras de plátano empleadas las cuales fueron del 0.3%, 0.5% y 0.7%, teniendo una resistencia a compresión promedio de 281.17 kg/cm².

Por otra parte, (Fuentes, 2022) en su tesis concluyó que la resistencia a la flexión del hormigón experimenta un aumento del 30.72% en el módulo de rotura cuando se añade un 0.8% de fibras de plátano, en comparación con el hormigón convencional. Además, observó que al aumentar el porcentaje de fibras al 1%, la resistencia disminuyó drásticamente

En esta investigación se pretende revisar, analizar y comparar, los resultados obtenidos con estudios anteriores, esto con el objetivo de analizar la factibilidad de uso en pavimentos.

2.2. MARCO TEÓRICO

El pavimento rígido es una opción bastante conservadora debido a las propiedades y ventajas que puede generar la construcción del mismo, (López & García, 2020) establecen que el pavimento rígido es utilizado cuando se requiere cumplir con ciertos parámetros como son la alta durabilidad, bajo costo de mantenimiento, distribución uniforme de cargas y servicio continuo. También es importante verificar que el pavimento rígido cumpla con las propiedades constructivas como resistencia y elasticidad. El pavimento rígido consta de una losa de hormigón con una resistencia $f'c$ mayor a 300 kg/cm², que al ser unidas con juntas de acero aumentan la capacidad portante de la misma ante las cargas continuas del tráfico.

2.2.1. Materiales utilizados para hormigón

2.2.1.1. Agregados pétreos

Los materiales granulares se caracterizan por proporcionar una alta resistencia al hormigón, por ello es fundamental reconocer el tipo y la calidad adecuada del material a utilizar. Los materiales granulares se clasifican en finos y gruesos; los agregados finos generalmente son arenas naturales o piedra triturada con un tamaño no mayor a 5mm. Los agregados gruesos son una combinación de grava y piedra triturada con un tamaño predominante de sus partículas entre 9.5 mm y 37.5 mm. Los agregados mencionados como son la grava y arena se extraen de una mina, río o lago (Steven H. Kosmatka et al., 2004). Tanto los agregados finos como gruesos representan una parte significativa, pues estos ocupan un espacio entre 75% a 80% del volumen total del hormigón y tienen un impacto considerable en las características mecánicas del concreto en su estado fresco y endurecido, así como en las proporciones de la mezcla y en la eficiencia económica del material (Ahmed et al., 2020). Cabe mencionar que en la ciudad de Cuenca generalmente el tamaño máximo nominal del agregado a utilizar en un pavimento rígido es de 3/4”.

La resistencia y durabilidad del hormigón dependen en gran medida de las propiedades físicas y químicas de los agregados que lo conforman. Razón por la cual es crucial contar con un control adecuado de la calidad de estos materiales. Entre las propiedades físicas más significativas se encuentra la porosidad, abrasión, forma, densidad y resistencia a la adherencia, entre otras. Además, se debe prestar especial atención a la granulometría que presentan los agregados, incluyendo el tamaño máximo de los mismos, ya que este factor tiene un impacto en el comportamiento mecánico del concreto. Asimismo, la mineralogía de los agregados también influye de manera variable en la resistencia del hormigón (Chan Yam et al., 2003).

Las propiedades físicas y mecánicas de los agregados, desempeñan un papel crucial en el hormigón. Estas propiedades pueden derivar de la rotura de roca natural o cantos rodados, la

selección de cascajos naturales de roca con forma redondeada o prismática, o incluso de materiales fabricados de manera artificial. Es esencial, que estos agregados estén compuestos por partículas robustas, limpias y saludables, sin defectos ocultos y libres de sustancias adherentes como grasas, aceites, arcillas, limo y materia orgánica (NEC, 2015). Los agregados presentan una gran capacidad de resistencia, esto debido a su elevado peso específico, textura, forma y adecuada granulometría. Deben considerarse las normas de control de calidad relacionadas con las propiedades físicas del agregado, para lo cual se puede utilizar la normativa NTE INEN 872 (J.R. Luna-Aroche & R.A. Salguero-Girón, 2006).

2.2.1.2. Clasificación de los agregados

Los agregados se pueden catalogar de varias maneras, ya sea por sus características o sus propiedades, con estos factores se puede seleccionar el material adecuado para cumplir con los requerimientos de resistencia, trabajabilidad y durabilidad de hormigón.

2.2.1.2.1. Clasificación por tamaño

También denominado granulometría, es una de las mejores formas para clasificar un agregado natural. Se divide en gravas y arenas, donde las arenas se las conoce como aquellas partículas que pasan a través del tamiz No. 4 (4.76 mm) y quedan retenidas en el tamiz No. 200 (0.074 mm). Por otra parte, las gravas se las conoce como aquellas que pasan a través del tamiz de 3 pulgadas (75 mm) y son retenidas en el tamiz No. 4 (4.76 mm), es decir que su tamaño es un 95% mayor que las partículas finas (Sánchez de Guzmán, 2001).

Tabla 1: Clasificación de los agregados según su tamaño.

Tamaño de las partículas en mm (pulg.)	Denominación más corriente	Clasificación	Clasificación como agregado para concreto
Inferior a 0.002 Entre 0.002 – 0.074 (No. 200)	Arcilla Limo	Fracción muy fina	No recomendable
Entre 0.074 – 4.76 (No. 200)-(No.4)	Arena	Agregado fino	Material apto para producir concreto
Entre 4.76 – 19.1 (No. 4)-(3/4'') Entre 19.1 – 50.8 (3/4'') -(2'') Entre 50.8 – 152.4 (92'') -(6'') Superior a 152.4 (6'')	Gravilla Grava Piedra Rajón, piedra bola	Agregado grueso	

Fuente: (Sánchez de Guzmán, 2002).

La normativa NTE INEN 695, nos especifica que el tamaño máximo del agregado grueso (grava) es de 19 mm (3/4''), por lo tanto, se deberá verificar que el agregado utilizado en la construcción de pavimentos y por ende en el proyecto de investigación sea el indicado (NTE INEN 695, 2010).

2.2.1.2.2. Clasificación según su origen

2.2.1.2.2.1. Agregado natural

Son materiales compuestos por fragmentos de rocas que han sido modificados por procesos naturales, como la erosión. Estos agregados se utilizan ampliamente en obras de pavimentación rígida de hormigón. La clasificación de estos materiales se basa en sus características físicas, como la forma, el tamaño y la textura. Es crucial seleccionar adecuadamente los agregados para garantizar una capacidad de soporte óptima y prevenir la acumulación de agua. Además, es posible comparar los agregados naturales con los agregados reciclados mediante análisis granulométricos

y desempeño de las especificaciones técnicas requeridas para su uso en la construcción de pavimentos (Rodríguez, 2015).

2.2.1.2.2. Agregado artificial

Los agregados artificiales son aquellos que se obtienen a través de procesos industriales a partir de productos secundarios o materiales que son transformados para su uso como agregados. Estos pueden incluir arcillas expansivas, escorias de alto horno, cenizas volantes, entre otros. Algunos de estos materiales se utilizan como sustitutos parciales de los agregados naturales en la construcción de pavimentos rígidos de hormigón, y su uso puede tener ventajas en términos de sostenibilidad y economía. Es importante tener en cuenta las especificaciones técnicas y normas aplicables para su uso en proyectos específicos de construcción (Rodríguez, 2015).

2.2.1.2.3. Clasificación por densidad

La selección adecuada de los agregados según su densidad es crucial para asegurar un desempeño óptimo de las estructuras construidas porque dependen de la cantidad de más por volumen de poros que presenten, es así que se pueden clasificar en tres categorías principales que son: livianos las cuales presentan una densidad inferior a la de los agregados convencionales, y se obtienen mediante procesos de incorporación de materiales como arcilla expandida, escoria de alto horno, cenizas volantes, entre otros. Son utilizadas cuando se busca minimizar el peso de la estructura y optimizar la aislación térmica. Por otra parte, los agregados normales que provienen de rocas y se utilizan en la mayoría de las aplicaciones de construcción, y por ultimo los agregados pesados que presentan densidades elevadas y se obtienen mediante procesos de adición de materiales de alta densidad (Rodríguez, 2015).

Tabla 2: Clasificación de los agregados según su densidad.

Tipo de concreto	Peso unitario aprox. del concreto kg/m ³	Peso unitario del agregado kg/m ³	Ejemplo de agregado
Ligero	400-800	60-480	Piedra pómez
	950-1350	480-1040	Perlita
	1450-2500		
Normal	2000-2500	1300-1600	Canto rodado Agregados de rio
Pesado	2500-5600	3400-7500	Piedra barita, magnetita

Fuente: (Sánchez de Guzmán, 2002).

2.2.1.2.4. Clasificación por su textura

La forma de los agregados puede influir en cómo actúa el hormigón endurecido, se pueden seleccionar los materiales dependiendo la aplicación que se requiera, en este caso si se requiere generar una buena adherencia con el hormigón los agregados rugosos serían la mejor opción, por otro lado, si buscamos aumentar la trabajabilidad se podrían emplear agregados redondeados. Esta selección de materiales nos ayuda a mejorar el comportamiento del hormigón ante cargas actuantes (Rodríguez, 2015).

2.2.1.3. Cemento Portland

El cemento portland tiene un impacto significativo en el proceso de obras civiles. Se trata de un aglomerante natural que, al combinarse con agua, origina una pasta inicialmente suave, que al secarse se transforma en una sustancia sólida y resistente. Cuando se mezcla con agregados como grava y arena, se crea lo que se conoce como "concreto". Al igual que otro producto, el cemento requiere de un mercado para ser comercializado. En Ecuador la mayoría de proyectos de

ingeniería civil dependen de la producción de cantidades significativas de este material (Salvatierra Espinosa et al., 2022).

El cemento Portland se elabora mediante una combinación de minerales de hierro, arcilla y caliza, dando como resultado un producto conocido como clínker. Este clínker se mezcla posteriormente con yeso para producir el cemento. Existen diversos tipos de cemento diseñados para diferentes usos y aplicaciones en la construcción. Por ejemplo, se encuentran el cemento que es de uso general (GU), el de alta resistencia inicial (HE), el de alta resistencia a los sulfatos (HS), entre otros.

2.2.2. Ensayo de materiales pétreos

Los ensayos de los materiales se realizan con el fin de conocer las características físicas de los agregados que son empleados en la construcción. También son importantes porque permiten evaluar la calidad y rendimiento de los mismos en diversas aplicaciones como la construcción de pavimentos, cimentaciones, rellenos, entre otros. Para el ensayo de materiales existen diversas normativas que especifican los valores límite que debe cumplir el material para ser puesto en obra, tal es el caso de la normativa ASTM e INEN.

2.2.2.1. Granulometría

El ensayo de granulometría del material se refiere a cómo se distribuyen los tamaños de las partículas en el suelo. Esta distribución se la representa en porcentaje con relación al peso total seco, para cada rango de tamaños de partículas. Esta propiedad es importante, ya que determina cómo se acomodarán las partículas en el suelo. Una distribución adecuada de partículas gruesas y finas proporcionará mejores características, este ensayo se basa en la normativa NTE INEN 696,

teniendo en cuenta que los agregados deberán cumplir con las características requeridas por la normativa INEN 872 para áridos de hormigón (NTE INEN 696, 2011).

La metodología para conocer la distribución de partículas en el suelo se lleva a cabo mediante dos procesos. Primero, se realiza un tamizado del material para las partículas de tamaño mayor a 0.074mm (las partículas que quedan retenidas en el tamiz N°200). Luego, se realiza una sedimentación utilizando un hidrómetro para las partículas más finas de tamaño inferior a 0.074mm (las partículas que pasan por el tamiz N°200).

El árido fino debe cumplir con los límites establecidos en la Tabla 3, no excediendo el 45% de paso en ningún tamiz, y su módulo de finura debe estar comprendido entre 2.3 y 3.1, según lo especifica la normativa NTE INEN 872.(NTE INEN 872, 2011).

Tabla 3: Gradación del árido fino.

Requisitos de gradación del árido fino	
Tamiz	Porcentaje que pasa
9.5 mm (3/8")	100
4.75 mm (N° 4)	95 – 100
2.36 mm (N°8)	80 – 100
1.18 mm (N°16)	50 - 85
600 μ m (N°30)	25 – 60
300 μ m (N°50)	10 – 30
150 μ m (N°100)	2 – 10

Fuente: (NTE INEN 872, 2011).

Los agregados gruesos deben estar compuestos por partículas o fragmentos fuertes y resistentes, exentos de material vegetal, arcilla u otras impurezas, y sin un exceso de partículas alargadas o planas. Además, no pueden contener sustancias o materiales perjudiciales que superen los porcentajes indicados en la Tabla 4.

Tabla 4: Requisitos de gradación para áridos gruesos.

TAMIZ INEN Abertura cuadrad (mm)	TAMIZ ASTM (plg)	Porcentaje en masa que debe pasar por los tamices indicados en la columna (1) para ser considerado como árido grueso de Grado:									
		A 90- 37.5 (mm)	B 6.3- 3.75 (mm)	C 6.3- 4.75 (mm)	D 37.5- 4.75 (mm)	E 26.5- 4.75 (mm)	F 19- 4.75 (mm)	G 13.2- 4.75 (mm)	H 9.5- 2.36 (mm)	I 53- 26.5 (mm)	J 35.5- 19 (mm)
106		100									
90		90- 100									
75	3		100								
63	2 ¼	25- 60	90- 100	100						100	
53			35- 70	95- 100	100					90- 100	100
37.5	1 1/2	0-15	0-15		95- 100	100				35- 70	90- 100
26.5				35- 70		95- 100	100			0-15	20- 55
19	¾	0-5	0-5		35- 70		90- 100	100			0-15
13.5				10- 30		25- 60		90- 100	100	0-5	
9.5	3/8				10- 30		20- 55	40- 70	85- 100		0-5
4.75	No. 4			0-5	0-5	0-10	0-10	0-15	10- 30		
2.36	No. 8					0-5	0-5	0-5	0-10		

Fuente: (NTE INEN 872, 2011)

En la ciudad de Cuenca, se utilizan agregados tanto finos como gruesos provenientes de diversas minas. En particular, nos centraremos en la mina Rookaazul para el presente estudio. Según (Freire & Quizhpi, 2022), esta mina suministra materiales granulares que se ajustan a las especificaciones proporcionadas por la empresa, lo cual implica que cumplen con las características descritas anteriormente. Además, estos agregados presentan un tamaño máximo nominal de ¾" y se asegura que cumplan con lo dispuesto en la normativa INEN 872 para análisis granulométrico.

2.2.2.2. Desgaste por Abrasión

Es necesario conocer la resistencia del agregado que será utilizado en el hormigón si nuestros materiales están sujetos al desgaste como los pavimentos, pues al presentar una baja resistencia al desgaste se puede incrementar la proporción de agregado fino durante la mezcla para el hormigón, y como consecuencia aumenta la proporción de agua, con lo que se requerirá ajustes en la relación agua-cemento. Para llevar a cabo estas pruebas de desgaste, se emplea el ensayo más común de resistencia a la abrasión, conocido como ensayo de abrasión de los Ángeles (método del tambor giratorio). Este método se realiza conforme a las normativas ASTM C131 o INEN 861 (Steven H. Kosmatka et al., 2004).

2.2.2.2.1. Abrasión de los ángeles

Este procedimiento aborda la degradación de los áridos minerales con una granulometría estándar y se aplica a aquellos que tienen un tamaño máximo nominal inferior a 1 ½ pulgadas. Estos agregados deben ser capaces de resistir el desgaste irreversible y la degradación durante la producción, colocación y compactación de las obras de pavimentación, así como a lo largo de la vida útil del pavimento.

El ensayo comienza cuando se deposita el agregado en el tambor de acero y simultáneamente se agrega un número de esferas de acuerdo a la masa total por tamaño obtenida (Tabla 5). Estas esferas generan un efecto de trituración e impacto en el agregado, lo que nos permite calcular el porcentaje de desgaste de acuerdo con las especificaciones establecidas en la normativa correspondiente.

Tabla 5: Gradación de las muestras de ensayo.

Tamaño de abertura de tamiz (mm) (aberturas cuadradas)		Masa por tamaños indicados (g)		
Pasante de	Retenido en	Gradación		
		1	2	3
75	63	2500 ± 50	----	----
63	50	2500 ± 50	----	----
50	37.5	5000 ± 50	5000 ± 50	----
37.5	25.0	----	5000 ± 25	5000 ± 25
25.0	19.0	----	----	5000 ± 25
	Total	----	----	

Fuente: (NTE INEN 861, 2011).

2.2.2.3. Densidad de los agregados

La densidad se refiere a la capacidad de las partículas para desplazarse en un medio. En el caso de los agregados, esta propiedad depende de la gravedad específica de sus componentes sólidos y de la porosidad del material. Un material con baja densidad indica una alta porosidad, lo que resulta en una disminución de su resistencia y una mayor capacidad de absorción de líquidos. Por lo mencionado es necesario conocer la densidad de los agregados, además de que esta nos asegura calidad, seguridad y rendimiento de las estructuras (Revelo, 2016).

Este ensayo se basa en sumergir una muestra significativa de agregado grueso y arena durante un período de 24 horas hasta que alcance un estado completamente saturado (S). Luego, se seca la película superficial de agua del material hasta que alcance un estado de saturación superficialmente seco (SSS), lo que significa que el agua se encontrará únicamente en los poros del material. Posteriormente la muestra de material es colocada en un recipiente graduado llamado también picnómetro, con el cual se podrá determinar el volumen mediante el método volumétrico

o gravimétrico. Este método consiste en obtener las diferentes masas dentro del picnómetro con agua y con la muestra de material (NTE INEN 857, 2010). Con los datos obtenidos del ensayo se pueden aplicar las fórmulas establecidas para determinar el peso específico de los materiales en los diferentes estados.

Cuando se trata de la arena, es crucial asegurarse de que su nivel de humedad sea el adecuado. Esto se puede verificar mediante el ensayo de humedad superficial expuesto en la normativa NTE INEN 856, el cual indica que se deben colocar capas de arena en el cono truncado y aplicar 25 golpes con la ayuda de un pisón, desde una altura de 1cm aproximadamente. Si el agregado tiene la humedad necesaria, el cono presentará un pequeño desmoronamiento. Por otro lado, si ocurre lo contrario, indicará que el material se encuentra seco (NTE INEN 856, 2010).

2.2.3. Fibras naturales

Con el fin de mitigar el impacto ambiental asociado al uso de materiales de construcción, es fundamental realizar una selección adecuada. Esto implica reducir el consumo de energía en su producción e instalación, así como minimizar la generación de residuos durante su fabricación y puesta en obra. Al hacerlo, se logra disminuir tanto la contaminación directa como indirecta que estos materiales pueden ocasionar.

La utilización de materiales naturales de origen vegetal en la construcción desempeña un papel fundamental en el enfoque de construcción sostenible. Estos materiales ecológicos y sostenibles ambientalmente se aplican con el objetivo principal de minimizar la contaminación y la emisión de gases de efecto invernadero. Además, permiten construir obras de buena calidad, equiparables e incluso superiores a las construcciones convencionales actuales. Al mismo tiempo,

el uso de estos materiales naturales ofrece la ventaja de ser más económicos y accesibles para la construcción (Cabrera, 2010).

Entendiendo que es fibra, se refiere a la obtención de hilos a través de procesos de enriado, los cuales posibilitan la creación de una amplia variedad de tejidos. Estas fibras pueden presentar diferentes longitudes, siendo que, a mayor longitud y finura, se obtiene una mejor calidad en términos de sus propiedades.

Las fibras naturales se obtienen tanto de fuentes vegetales como de animales, por lo que, esta investigación se centra en las fibras de origen vegetal, estas pueden provenir de diferentes partes de una planta, como el tallo, la cáscara o las hojas. Es esencial tener en cuenta la procedencia de las fibras, ya que algunas pueden ser más susceptibles a daños, como las extraídas de las hojas. Por otro lado, las fibras procedentes de tallos o cáscaras, dependiendo del tratamiento, pueden generar filamentos con una mayor cohesión, incluso en algunos casos más resistentes que las fibras sintéticas (Ríos, 2018).

Existen diversas fibras de origen natural que pueden utilizarse como refuerzo en el hormigón, pero es importante destacar las fibras naturales de origen vegetal. Estas fibras son más accesibles y fáciles de obtener en comparación con otras opciones, no requieren un alto consumo de energía durante su producción y procesamiento, son más económicas y aportan a los objetivos de sostenibilidad, desde el punto de vista ambiental. Al mezclar estas fibras con cemento Portland, se puede obtener un material amigable con el medio ambiente que además presenta mejoras en sus propiedades tanto mecánicas como térmicas (Ruano et al., 2017). La mayoría de estas fibras también presentan una resistencia mecánica significativa, tanto a tracción como a compresión, y su módulo de elasticidad se encuentra en el rango del concreto.

La incorporación de fibras vegetales en el concreto tiene un efecto positivo en las propiedades mecánicas al limitar la propagación y apertura de grietas. En general, estas fibras incrementan la resistencia a la tracción, la tenacidad y la capacidad de deformación de los elementos en los que se aplican. El concreto reforzado con fibras vegetales suele presentar una alta porosidad debido a las características intrínsecas de las propias fibras vegetales, que contienen cavidades y lúmenes capaces de absorber agua. Esto implica una consideración especial al momento de mezclar el hormigón, controlando cuidadosamente la cantidad de agua utilizada. Para evitar esta absorción de agua, se puede aplicar un tratamiento adecuado a las fibras vegetales, como la saturación superficial (SSS) antes de su incorporación a la mezcla, de manera que se minimice la reducción de agua durante el proceso de endurecimiento (Ruano et al., 2017).

Tabla 6: Características mecánicas de varios tipos de fibras naturales.

Tipo de fibra	Diámetro promedio (mm)	Longitud promedio (mm)	Porcentaje de absorción después de 24h	Densidad media de fibra (SG)	Resistencia media a la tracción (MPa)	Fuerza de unión promedio (MPa)	Porcentaje de elongación promedio
Bagazo	0.508	35.05	122.5	0.639	0.0246	0.2482	N/A
Coco	0.685	279.90	58.5	0.580	0.0608	0.2757	2.600
Yute	0.101	400.05	62.0	1.280	0.3688	0.1378	N/A
Magüey	0.355	400.05	63.0	1.240	0.3750	N/A	N/A
Lechuguilla	0.355	400.05	102.0	1.360	0.3730	N/A	N/A
Plátano	0.279	93.98	276.0	0.298	0.0755	0.2413	3.000
Guaney (palma)	0.279	448.976	129.0	1.195	0.3447	0.2757	2.880
Bambú	variable	variable	31.0	0.720	0.3770	0.3102	1.800

Fuente: (ACI 544.1R-96, 2002)

2.2.4. Planta de plátano

En el Ecuador la producción de plátano es una fuente significativa de empleo e ingresos para miles de ecuatorianos y contribuye de manera considerable a las exportaciones del país. Sin embargo, la producción de este producto se enfrenta a varios desafíos que impactan en su rendimiento, como la presencia de plagas, enfermedades y otros factores indirectos, incluida la gestión inadecuada del suelo y la falta de conocimiento en la aplicación de tecnologías eficaces y económicas (Fernández et al., 2021).

El plátano representa un 32% del comercio global, dejando al país con el título de principal exportador mundial de esta fruta durante los últimos 25 años. Además, su producción contribuye significativamente al Producto Interno Bruto (PIB) de la economía ecuatoriana, aportando un notable 3.84%. La producción de este producto genera grandes fuentes de empleo para agricultores y similares, con aproximadamente 400 000 puestos de trabajo directo. Esto equivale al 12% de la localidad económicamente activa, que se favorece directamente de esta actividad (Álvarez et al., 2020).

Actualmente se cuenta con una superficie de 230 000 ha de siembra de plátano. La producción nacional se sitúa en aproximadamente 1700 cajas por hectárea al año (cajas/ha/año), una cifra significativamente inferior en comparación con Colombia, Costa Rica y Filipinas, quienes logran alcanzar una impresionante productividad aproximada de 2200, 2500 y 3000 cajas por hectárea por año (cajas/ha/año), respectivamente. En el 2011 se registraron en el país un total de 144,981 hectáreas de plátano, de las cuales 86,712 hectáreas se dedican al sistema de monocultivo, mientras que las restantes 58,269 hectáreas se encuentran en asociación con otros cultivos. La producción de plátano se concentra principalmente en la región costa, que abarca un

86% de la superficie total destinada al cultivo. En segundo lugar, se encuentra la región sierra, con un 9.7%, y finalmente la región amazónica, que solo representa el 4.3%. En términos de provincias, las principales áreas dedicadas al cultivo del plátano son Los Ríos, El Oro y Guayas, las cuales abarcan respectivamente el 33.1%, 27% y 25.9% de la superficie total destinada a este cultivo (Erazo et al., 2021).

2.2.5. Fibra de vástago de Plátano

La parte del plátano que se utiliza como fibra se conoce como el pseudotallo o vástago, que se asemeja al tronco y es comúnmente llamado "falso tallo". Este pseudotallo está compuesto principalmente por vainas foliares y contiene una alta proporción de agua en su composición. Una de sus características distintivas es su resistencia (Baquerizo & Lazo, 2019). El pseudotallo del plátano alcanza una altura de 2 a 5 metros, y puede llegar a medir hasta 8 metros cuando se incluyen las hojas.

En el Ecuador las plantas de plátano comprenden miles de hectáreas en su cultivo, mismas que son exportadas a otros países alrededor del mundo, por lo tanto, las fibras se obtienen en gran cantidad una vez realizado su proceso químico de enriado (León Ajila et al., 2023). La fibra de plátano es actualmente conocida como la fibra natural más fuerte. Entre sus propiedades esta la capacidad de rotación, finura y resistencia a la tracción. También una amplia variedad de posibilidades para la fabricación de tejidos, con distintos pesos y espesores según la parte del plátano de donde se extraiga. Las fibras más robustas y fuertes se obtienen de las vainas externas de los árboles de plátano, mientras que las vainas interiores proporcionan fibras más suaves. Estas características permiten la creación de tejidos con diferentes propiedades y usos según las necesidades específicas (González Arrieta & Riviera Cera, 2023).

Las fibras de plátano presentan características térmicas notables, como la capacidad calorífica volumétrica, difusividad y conductividad térmica. Estas características hacen que la fibra de plátano tenga diversos usos prometedores en la producción de materiales como aislantes térmicos, presentando la posibilidad de reemplazar a los materiales sintéticos convencionales. Además, la fibra de plátano también posee propiedades físicas relevantes, como longitud, diámetro, relación de aspecto y ángulo de las microfibras, que están estrechamente relacionadas con sus propiedades mecánicas.

En promedio, la longitud de las fibras de plátano oscila entre 1 cm y 30 cm y el diámetro se encuentra en el rango de 0.05 mm a 0.25 mm (Cifuentes Sánchez & Cifuentes Rivera, 2019).

2.2.5.1.Extracción de la fibra de vástago de plátano

Según las investigaciones realizadas por (Tamara, 2021), el proceso para la extracción de las fibras de plátano es el siguiente:

1. Una vez cortado el pseudotallo o vástago de la planta, se procede a quitar las vainas del mismo, este podría contener entre 17 a 20 vainas dependiendo el grosor del tallo.
2. Después de retirar todas las capas del tallo, se inicia el proceso de clasificación de las fibras obtenidas a partir de estas capas en dos categorías: fibra dura y fibra de malla. En nuestro caso, decidimos descartar la fibra de tipo malla debido a sus propiedades de resistencia inferiores en comparación con las fibras duras.
3. Posterior a este se deja secar la parte del tallo del que se extraerán las fibras, para comenzar con el proceso de desfibrado por medio de un cepillo de acero.
4. Una vez obtenidas las fibras mediante el proceso mencionado, se comienza el proceso químico para tratamiento de las fibras, se aplica cal para eliminar la celulosa y lignina

presente en las mismas, con el fin de mejorar las propiedades de adherencia a la mezcla de hormigón y evitar la aparición de hongos.

2.2.6. Normativa aplicada para uso de refuerzo en el hormigón

2.2.6.1. Refuerzo con fibra natural

Dado que las fibras se producen en grandes cantidades, su utilización es significativa en diversos países. En el sector de la construcción, este tipo de fibras precede sustancialmente al hormigón armado convencional, denominado también NFRC. Existe una amplia gama de fibras que se pueden combinar con otros componentes, como el cemento, agregados finos, puzolanas, agua y aditivos. Entre los tipos de fibras que se pueden utilizar en estos modelos se incluyen el sisal, el yute, el plátano y la palma (ACI 544.1R-96, 2002).

Según la ACI 544.1R-96, los materiales para el diseño de mezclas de hormigón con fibras naturales, deben cumplir con los siguientes requerimientos:

1. El cemento recomendado debe ser el Tipo I, debe cumplir con los requerimientos de la normativa ASTM.
2. Los agregados deben cumplir con lo expuesto en la normativa ASTM C-33.
3. El agua a utilizar en la mezcla debe ser limpia y de alta calidad. En algunos casos, es posible utilizar aceleradores para contrarrestar el efecto retardante de la glucosa. En ausencia de barras de acero dulce como refuerzo adicional, se puede considerar la incorporación de cloruro de calcio. Además, se pueden utilizar aditivos reductores de agua y superplastificantes para mejorar la manejabilidad de la mezcla, especialmente en aplicaciones de enlucido.

4. La longitud de las fibras puede abarcar un rango de 1 a 20 pulgadas (25 a 500 mm). Debido a su origen natural, estas fibras no presentan uniformidad en cuanto a su diámetro y longitud. Por lo general, los valores típicos del diámetro de fibras naturales sin procesar oscilan entre 0.004 y 0.03 pulgadas (0.10 a 0.75 mm).

2.2.7. Diseño de mezcla de hormigón

Suministrar o configurar una mezcla de concreto implica la tarea de establecer las proporciones adecuadas de los materiales necesarios para obtener un concreto que se ajuste a un propósito específico. Dado que varios materiales entran en juego en una mezcla de concreto y la variación de sus atributos afecta las propiedades resultantes, se hace esencial contar varios métodos de dosificación. El componente primordial de la mezcla de concreto es el cemento que ocupa aproximadamente de 7 a 15% del volumen total de la mezcla (Llontop & Ruiz, 2019).

Las metodologías de diseño de mezclas incorporan límites definidos con relación a un conjunto de propiedades que deben ser cumplidas respecto a las normativas establecidas, entre las cuales se incluyen:

- Relación agua-cemento.
- Tamaño máximo del agregado.
- Módulo de finura de la arena.
- Granulometría de los agregados.

La dosificación de la mezcla hace referencia al procedimiento para determinar el peso de los compuestos del concreto para un determinado volumen, con el fin de alcanzar las características de un hormigón trabajable, las cuales son: durabilidad, resistencia y economía (Bolívar, 1987).

Existen varios métodos para calcular la dosificación de una mezcla de concreto, estos métodos requieren de las propiedades de los agregados, pues deben ajustarse según sus especificaciones, los tipos de métodos de diseño son: Método del ACI, Método de Fuller Thomson y Método de finura de combinación de los agregados.

En el caso de nuestra investigación se optó por el diseño de mezclas por el método de Fuller, ya que los agregados no cumplían con la curva granulométrica propuesta para el diseño por la ACI.

2.2.8.1. Método Fuller Thomson

El método de Fuller se basa en combinar los áridos de manera que se adapten a una curva ideal que recibe el nombre de curva Fuller (Bolívar, 1987). Este método se emplea cuando:

- La cantidad de cemento por metro cubico de hormigón es mayor de 300 kgf.
- La estructura no está fuertemente armada.
- El tamaño máximo del agregado es menor de 50 ± 20 mm.

La metodología para el diseño consta de los siguientes pasos:

1. *Granulometría*: una vez obtenidos los datos de granulometría, estos se ajustarán a la curva Fuller para determinar el porcentaje de arena y grava. Este proceso de ajuste se lo realiza mediante la siguiente ecuación:

$$y = 100 \sqrt{\frac{d}{D}} \quad (\text{Ecuación 1})$$

Donde:

D: es el tamaño máximo del agregado grueso en mm

d: abertura de las mallas en mm.

Para determinar el porcentaje de los agregados que conformaran la mezcla se puede aplicar diferentes métodos en la curva Fuller, ya sea por método de tanteo o cálculos matemáticos.

2. *Cantidad de agua de la mezcla*: Este paso implica la elección del asentamiento, el cual se basa en la consistencia de la mezcla y el uso que se le va a dar en la construcción; y el tamaño máximo del agregado presente del material adquirido de las minas, utilizando la tabla que se presenta a continuación:

Tabla 7: Cantidad de agua en kgf por metro cubico de hormigón.

Tamaño máximo del agregado		Agregado redondeado	Agregado triturado
mm	pulg	kgf	kgf
12.7	½"	199	214
19.1	¾"	184	199
25.4	1"	178	193
38.1	3/2"	166	181
50.8	2"	157	172
76.2	3"	148	163
152.4	6"	131	145

Fuente: (Bolívar, 1987).

3. *Resistencia de diseño*: Este paso consiste en mayorar la resistencia de diseño, con el fin de alcanzar una curva de esfuerzo deformación optima al diseño requerido.
4. *Relación agua-cemento (a/c)*: Este paso se lo puede realizar de dos formas, el primero mediante el método numérico y el segundo mediante el método gráfico.

El método numérico se basa en la siguiente ecuación:

$$Z = (k * R_m) + 0.5 \quad \text{(Ecuación 2)}$$

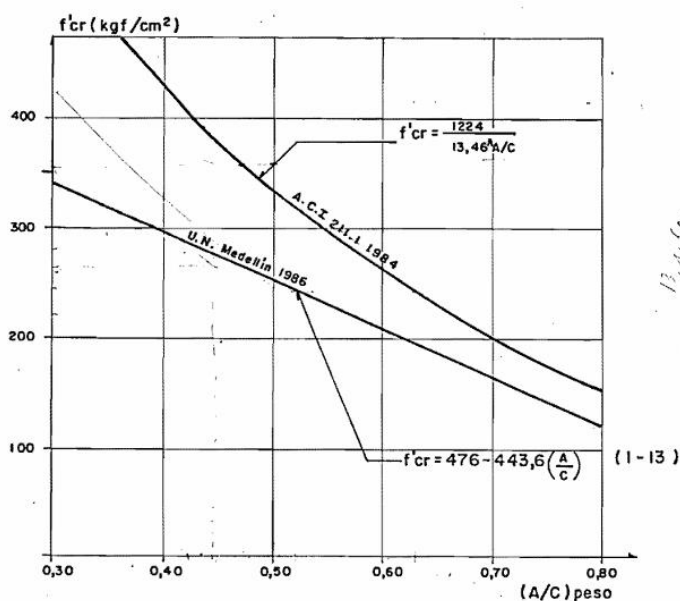
Donde:

k: depende de la forma del agregado (0.0003-0.0045 para piedra triturada y 0.0045-0.007 para piedra redonda).

Rm: es la resistencia requerida f'_{cr} .

El método grafico se lo realiza mediante la Ilustración 1.

Ilustración 1: Relación a/c para mezclas sin adicciones.



Fuente: (Bolívar, 1987).

5. *Dosificación por metro cúbico:* una vez obtenidos los porcentajes de los agregados que formaran parte de la mezcla, se calculan los volúmenes absolutos para un metro cubico de hormigón. Para el cual se necesita considerar cada parámetro antes mencionado incluyendo los pesos específicos de cada material.

2.2.8. Ensayo de asentamiento (cono de Abrams)

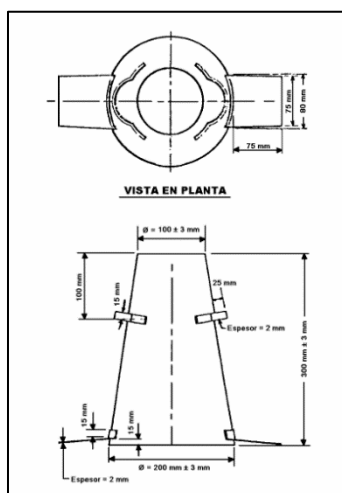
Originalmente, este ensayo se desarrolló con el propósito de brindar un método para evaluar la consistencia del concreto fresco mediante los parámetros que rigen la normativa NTE

INEN 1578. Por lo general, en condiciones de laboratorio y con una rigurosa inspección de los materiales utilizados en la mezcla de hormigón, se ha observado que el asentamiento aumenta en proporción al contenido de agua en la mezcla, y, en consecuencia, se relaciona inversamente con la resistencia del hormigón. Sin embargo, es importante destacar que, en campo esta relación con la resistencia no siempre se manifiesta de manera clara ni concisa (NTE INEN 1578, 2010).

En hormigones con asentamientos inferiores a 15 mm pueden carecer de la plasticidad necesaria, mientras que aquellos con asentamientos superiores a 230 mm pueden no poseer la cohesión requerida para que este ensayo tenga relevancia.

El equipo de ensayo consta de un molde en forma de cono truncado (cono de Abrams) con diámetro inferior de 10 cm y superior de 20 cm (Ilustración 2) que deberá ser colocado sobre una superficie lisa, y una varilla para compactar (Bolívar, 1987).

Ilustración 2: Molde para ensayo de asentamiento



Fuente: (NTE INEN 1578, 2010).

El ensayo se inicia cuando se coloca la muestra de hormigón recién mezclado en el molde con forma de cono truncado. Luego, se compacta la muestra en tres capas, utilizando 25 golpes de una varilla en cada capa. A continuación, se nivelará la superficie y se retirará el molde,

permitiendo que el hormigón se asiente naturalmente. La medición del asentamiento del hormigón fresco se realiza midiendo la diferencia de altura entre el punto más alto de la muestra y la altura original del centro de la misma. Este valor representa el asentamiento del hormigón en su estado fresco (NTE INEN 1578, 2010).

2.2.9. Ensayo a compresión

Este ensayo lo regula la norma NTE INEN 1573 cuyo objetivo es determinar la resistencia a la compresión de muestras cilíndricas de hormigón. Los resultados que se obtienen del ensayo son fundamentales para el control de calidad en la dosificación del hormigón, en el manejo del mezclado y colocación, verificación en el cumplimiento de las especificaciones y evaluación de la eficacia de los aditivos.

El procedimiento de ensayo implica la aplicación de una carga axial de compresión a los cilindros de hormigón a una velocidad de carga predefinida, hasta que el espécimen falle. La resistencia a compresión se calcula dividiendo la carga máxima registrada a la hora del ensayo entre el área de la sección transversal del cilindro (NTE INEN 1573, 2010).

La carga aplicada a los especímenes debe mantener una velocidad de esfuerzo de 0.25 ± 0.05 MPa/s y debe aplicarse de manera continua. Además, es importante tener en cuenta que los especímenes de ensayo deben tener dimensiones de 150x300 mm o 100x200 mm, o en su defecto, cumplir con la relación Longitud/Diámetro=2, de acuerdo con las especificaciones para la preparación de especímenes establecidas en la normativa ASTM.

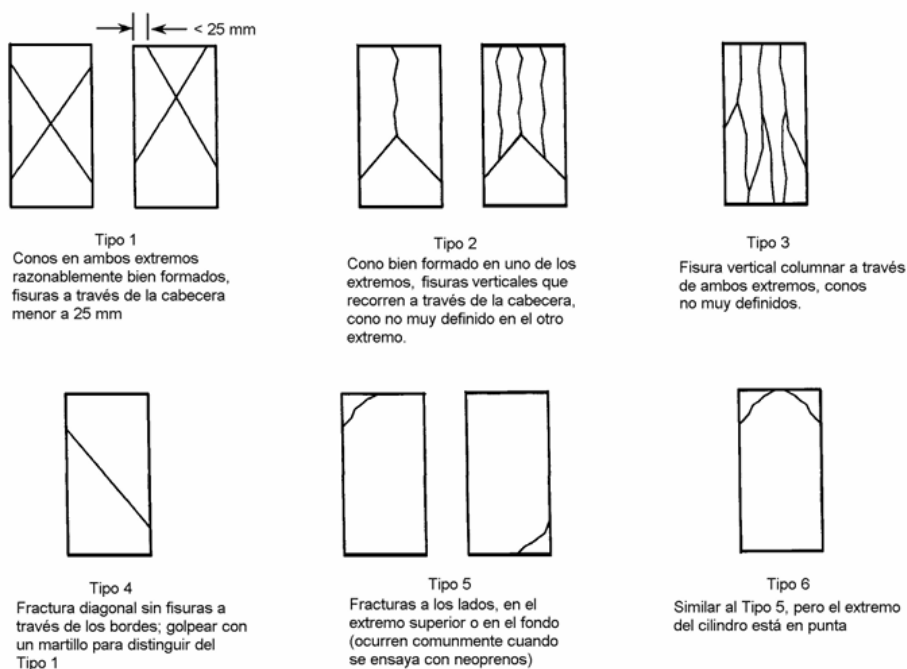
Ilustración 3: Máquina de ensayo a compresión en especímenes cilíndricos de hormigón.



Fuente: Elaboración Propia.

Existen modelos que han sido desarrollados para caracterizar la rotura de cilindros de hormigón bajo compresión. Estos modelos son utilizados para anticipar el comportamiento del hormigón cuando se somete a cargas compresivas y para analizar su resistencia. Entre los modelos más ampliamente reconocidos, se encuentran:

Ilustración 4: Esquema de los modelos típicos de fractura de cilindros de hormigón.



Fuente: (NTE INEN 1573, 2010).

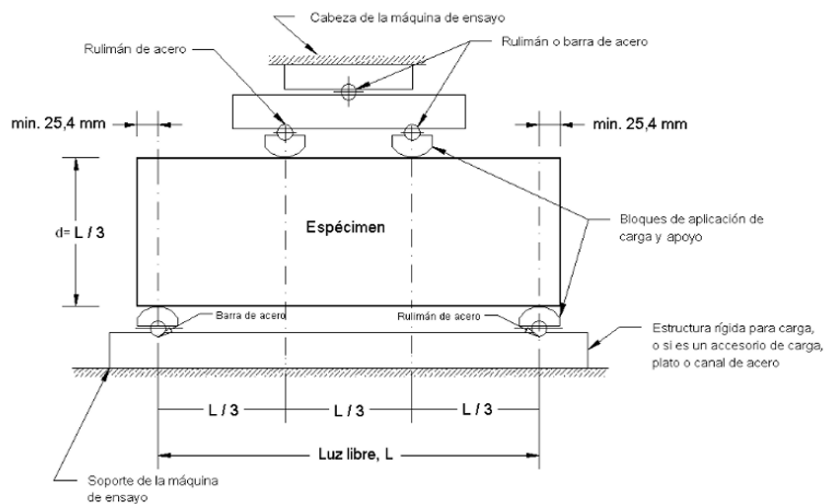
2.2.10. Ensayo a Flexión

La normativa NTE INEN 2554 hace referencia a la evaluación de la resistencia a la flexión del hormigón a través de la utilización de una viga apoyada en sus extremos y sometida a cargas distribuidas en los tercios de la longitud libre. Este ensayo nos ayuda a calcular el módulo de rotura de especímenes de hormigón y su resistencia puede variar en función de variables como: la preparación, humedad, tamaño, condiciones de curado, entre otros. Los resultados obtenidos por este ensayo se pueden emplear para determinar si este cumple o no con los requerimientos o como base para la dosificación (NTE INEN 2554, 2011).

La máquina de ensayo utilizada debe cumplir con los requerimientos de verificación estipulados por la norma ASTM E4. Se utiliza el método de carga en los tercios de la luz libre en

los ensayos de flexión del hormigón, lo cual garantiza que las fuerzas que se aplican sobre la viga sean perpendiculares a la cara del espécimen y además sin excentricidad.

Ilustración 5: Esquema de un equipo apropiado para ensayos de flexión.



Fuente: (NTE INEN 2554, 2011).

Posterior al ensayo a flexión se podrá calcular el módulo de rotura de la viga, tomando datos de altura y ancho con una aproximación de 1mm, según la manera de orientación del espécimen.

CAPITULO III

3. METODOLOGIA

3.1.Tipo de investigación

El presente proyecto de titulación se caracteriza por su enfoque descriptivo y experimental, que involucra una metodología destinada a obtener resultados a partir de ensayos y análisis de la realidad. Además, busca establecer las bases necesarias para respaldar las hipótesis planteadas por distintos autores y comparar los resultados, ya sean positivos o negativos.

3.2.Ensayos de laboratorio

En este punto, se considerarán las normativas pertinentes para la recolección de muestras de agregados, de acuerdo con las pautas establecidas por las normas ASTM e INEN. Estas normas detallan las técnicas apropiadas y los instrumentos a utilizar. Además, para agilizar el proceso, se hará uso de una plataforma electrónica, tal es el caso del software Excel, el cual permitirá la rápida digitalización de los datos y la tabulación de los resultados de cada ensayo. Este software facilitará el proceso de diseño de la mezcla de hormigón.

Los agregados que serán utilizados en la mezcla de hormigón fueron obtenidos de la minera Rookaazul que posteriormente se los trasladaron al laboratorio de suelos de la Universidad Católica de Cuenca, donde según las especificaciones proporcionadas por la minera el tamaño del agregado grueso es de $\frac{3}{4}$ " y la arena es de tipo fina, datos que serán verificados mediante los ensayos de laboratorio. Como se menciona en el capítulo II cada ensayo debe cumplir con lo dispuesto en la normativa correspondiente, con el fin de cumplir con las características adecuadas

para garantizar un diseño óptimo del hormigón. A continuación, se describen los diferentes ensayos realizados en el laboratorio para caracterizar los materiales.

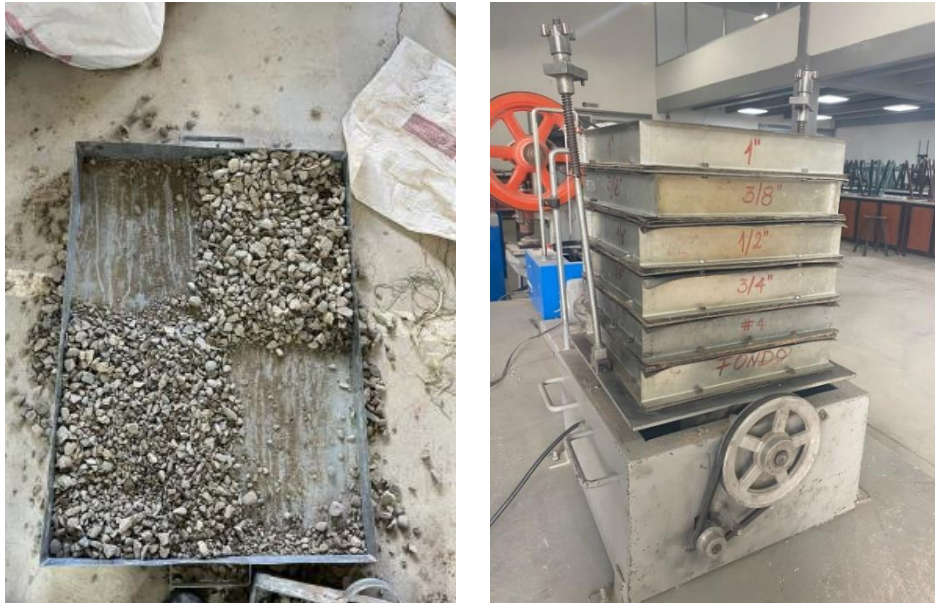
3.2.1. Análisis granulométrico agregado grueso

Es fundamental que los agregados gruesos cumplan con una adecuada gradación de tamaños para garantizar la uniformidad de la mezcla de hormigón. La forma de las partículas gruesas es de gran importancia, ya que influye en la resistencia y capacidad de adherencia a la mezcla de hormigón. En este estudio, se consideró el uso de piedra triturada o ripio como tipo de agregado, y se realizaron los ensayos pertinentes para determinar su tamaño máximo nominal y verificar su conformidad con las normativas aplicables.

Para llevar a cabo el ensayo de granulometría del agregado grueso, nos regimos por las directrices establecidas en la normativa NTE INEN 696. Los pasos para la realización de este ensayo son los siguientes:

- En primer lugar, se procede a homogeneizar el material, posterior se realiza el cuarteo con el fin de obtener una muestra pequeña y representativa para dar inicio al ensayo (Ilustración 6).
- Se nota del peso inicial de la muestra obtenida mediante el cuarteo antes de su paso por la tamizadora. A continuación, esta muestra se coloca en la tamizadora durante un período aproximado de 5 minutos.

Ilustración 6: Tamizadora para agregados gruesos.



Fuente: Elaboración propia.

- Durante el método de cuarteo también se tomará una pequeña cantidad de material para determinar la humedad del agregado. Primero el material se pesa en estado húmedo y se lo llevo a la cocineta para secarlo, posterior a este se volvió a obtener el peso en estado seco y se aplicó la fórmula para conocer el porcentaje de humedad presente en el agregado, la cual es la siguiente:

$$\%w = \frac{W_w - W_s}{W_s} * 100 \quad (\text{Ecuación 3})$$

De lo cual, **%w = 0.66%**

- Al finalizar el proceso de tamizado, se lleva a cabo el pesaje del material retenido en cada tamiz, lo que permite obtener la curva granulométrica de la grava.

Tabla 8: Análisis granulométrico del agregado grueso.

GRANULOMETRÍA DE LA GRAVA							
Tamiz		Peso Ret. (gr)	Peso Ret. Acum. (kg)	% Retenido	% Pasa	Especificaciones norma	
mm	pulg					Limite superior	Limite inferior
38.1	1 1/2"	0.00	0.00	0.00	100.00	100.00	100.00
25.4	1"	0.00	0.00	0.00	100.00	100.00	90.00
19.05	3/4"	285.00	285.00	2.29	97.71	85.00	40.00
12.7	1/2"	7910.00	8195.00	65.84	34.16	40.00	10.00
9.525	3/8"	2411.00	10606.00	85.21	14.79	15.00	0.00
4.75	Nº4	1792.00	12398.00	99.61	0.39	5.00	0.00
Fondo		48.50	12446.50	100.00	0.00	-----	

Peso antes del ensayo (gr)	12454.5	Peso después del ensayo (gr) =	12446.50
-----------------------------------	---------	---------------------------------------	----------

Fuente: Elaboración propia

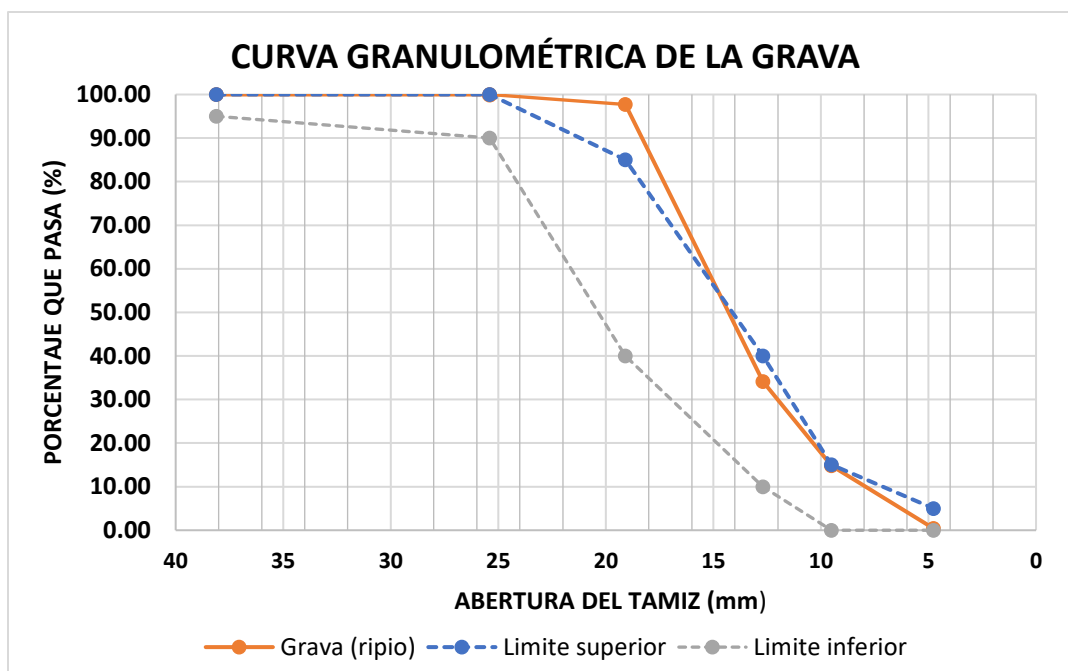
Después de haber realizado los cálculos respectivos, se puede observar que el tamaño máximo de la grava es de 3/4". Además, según la NTE INEN 696, se puede calcular el Módulo de finura (MF) del agregado grueso, y está dado por la siguiente fórmula:

$$MF = \frac{\sum \% \text{Retenidos acumulados en cada tamiz}}{100} \quad (\text{Ecuación 4})$$

Donde se obtuvo, **MF = 2.53%**

A continuación, se presenta la curva granulométrica del agregado grueso, teniendo en cuenta los límites superior e inferior que dicta la norma NTE INEN 872.

Ilustración 7: Curva granulométrica del agregado grueso.



Fuente: Elaboración propia

3.2.2. Análisis granulométrico agregado fino

El agregado fino es un material uniforme el cual atraviesa los tamices desde el N°4 hasta el N°100. El porcentaje del agregado fino que pasa a través de los tamices N°50 y N°100 contribuye significativamente a mejorar la manejabilidad y el acabado del hormigón. Siguiendo la misma pauta que en el caso del agregado grueso, nos apegamos a lo establecido en la normativa NTE INEN 696, cuyo procedimiento se describe a continuación:

- Se recogerá una muestra de 500 gramos, y será llevada a la tamizadora por un lapso de 3 a 5 minutos (Ilustración 8).

Ilustración 8: Tamizadora para agregado fino.

Fuente: Elaboración propia

- Después del tiempo de tamizado se lleva a cabo el pesaje del material retenido en cada uno de los tamices, con el cual se podrá obtener la curva granulométrica del agregado fino.

Tabla 9: Análisis granulométrico del agregado fino.

GRANULOMETRÍA DE LA GRAVA							
Tamiz		Peso Ret. (gr)	Peso Ret. Acum. (kg)	% Retenido	% Pasa	Especificaciones norma	
mm	pulg					Limite superior	Limite inferior
9.525	3/8"	0.00	0.00	0.00	100.00	100.00	100.00
4.75	N°4	5.50	5.50	1.09	98.91	100.00	95.00
2.36	N°8	44.50	50.00	9.95	90.05	100.00	80.00
1.18	N°16	113.50	163.50	32.54	67.46	85.00	50.00
0.6	N°30	134.50	298.00	59.30	40.70	60.00	25.00
0.3	N°50	124.50	422.50	84.08	15.92	30.00	5.00
0.15	N°100	65.00	487.50	97.01	2.99	10.00	0.00
0.075	N°200	12.50	500.00	99.50	0.50	3.00	0.00
Fondo		2.50	-----				
Peso antes del ensayo (gr)			500.0	Peso después del ensayo (gr) =		500.0	

Fuente: Elaboración propia

Después de haber realizado los cálculos respectivos, el tamaño máximo del agregado fino es de 4.75mm, y también se puede calcular el MF con la fórmula antes descrita.

$$MF = \frac{\sum \% \text{Retenidos acumulados en cada tamiz}}{100} \quad (\text{Ecuación 4})$$

Donde se obtuvo, **MF = 2.84%**

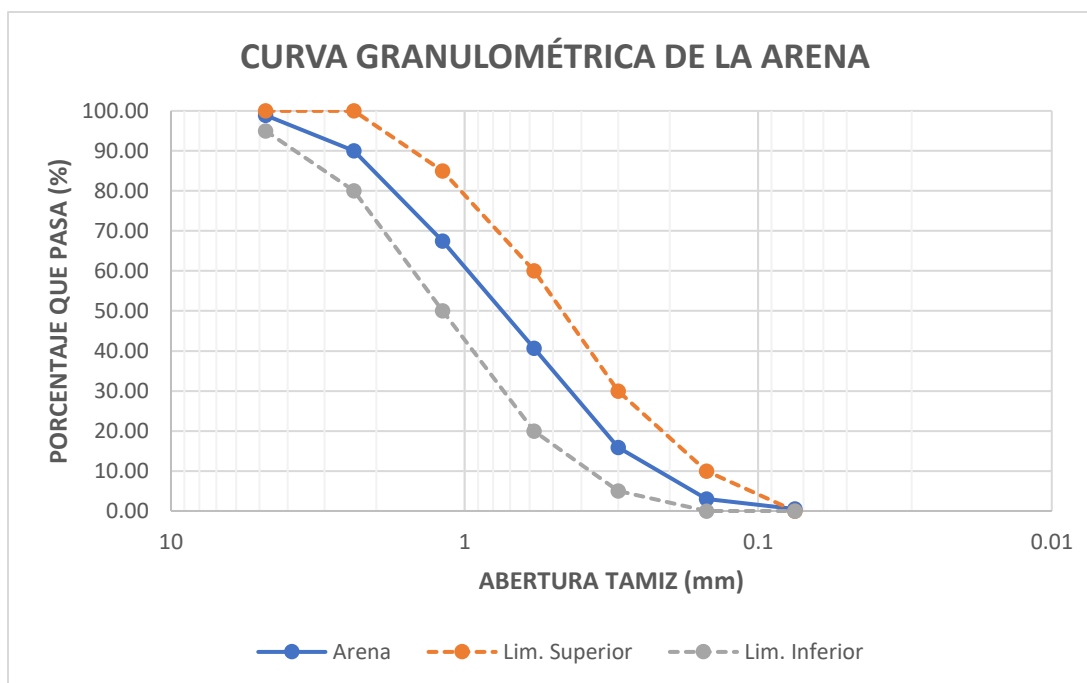
De acuerdo con lo estipulado por la normativa NTE INEN 872, el Módulo de Finura del agregado fino debe situarse en un intervalo de 2.3 a 3.1. Como se puede observar, el agregado fino cumple con estos criterios al encontrarse dentro del rango especificado.

- De igual manera que la grava, se obtuvo el porcentaje de humedad presente en la muestra de material, y se aplicó la siguiente fórmula:

$$\%w = \frac{W_w - W_s}{W_s} * 100 \quad (\text{Ecuación 3})$$

De lo cual, **%w = 5.29%**

A continuación, se presenta la curva granulométrica de la arena, teniendo en cuenta los límites superior e inferior que dicta la norma NTE INEN 872.

Ilustración 9: Curva granulométrica del agregado fino.

Fuente: Elaboración propia

3.2.3. *Peso específico de la grava*

El peso específico o densidad relativa y porcentaje de absorción del agregado grueso está definida por la normativa NTE INEN 857, siguiendo los pasos de la normativa para el presente proyecto de titulación, se realizó lo siguiente:

- Se tomó una pequeña muestra de material grueso que se saturó en agua durante un período de 24 ± 4 horas.
- Luego, se llevó a cabo el proceso de verter el agua para eliminar el exceso presente en la muestra. A continuación, con un paño seco se procedió a limpiar la capa de agua visible en la superficie del material, lo que resultó en la obtención del material en estado de saturación superficialmente seca (SSS) según lo establece la norma.

Ilustración 10: material saturado y eliminación de la película de agua



Fuente: Elaboración propia

- Una vez obtenida la masa en estado SSS se coloca el material dentro de un recipiente llamado picnómetro, el cual se lo llena de agua y se eliminaron todas las burbujas de aire que este atrapado dentro del mismo, con este proceso determinamos la masa aparente en agua de la muestra.
- Posterior a este se seca la muestra en el horno por un periodo de 24 horas, para obtener la masa seca del material.

Ilustración 11: Proceso del picnómetro para la obtención de la masa en estado S.S.S.



Fuente: Elaboración propia

- Después de realizado todo el procedimiento y obtenido las masas establecidas por la normativa, se procede a determinar el peso específico y porcentaje de absorción mediante las fórmulas dadas por la INEN 857 y las cuales están descritas en la siguiente tabla.

Tabla 10: Datos obtenidos por el método del picnómetro.

PESO ESPECÍFICO DE LA GRAVA: MÉTODO DEL PIGNÓMETRO			
A=	636.60	g.	PESO DEL MATERIAL SUPERFICIALMENTE SECO Y SATURADO
B=	3526.00	g.	PESO DEL PIGNÓMETRO + AGUA + MUESTRA
C=	3129.00	g.	PESO DEL PIGNÓMETRO + AGUA
D=	626.00	g.	PESO DEL MATERIAL SECO
PESO ESPECÍFICO SECO	$\frac{D}{A - (B - C)}$	2.61	gr/cm ³
PESO ESPECÍFICO SATURADO SUPERFICIALMENTE SECO	$\frac{A}{A - (B - C)}$	2.66	gr/cm ³
PESO ESPECÍFICO APARENTE	$\frac{D}{D - (B - C)}$	2.73	gr/cm ³
% DE ABSORCIÓN	$\frac{100(A - D)}{D}$	1.693	%

Fuente: Elaboración propia.

Estos datos obtenidos servirán para el diseño de la mezcla de hormigón, por su parte el % de absorción nos proporcionara el conocimiento para la corrección del agua en la mezcla y con ello podemos observar que el material de grava no presenta gran porosidad.

3.2.4. Peso específico de la arena

Este ensayo se determina mediante la normativa NTE INEN 856. Donde el procedimiento es el siguiente descrito:

- Se recogió una muestra significativa se agregado fino, y se lo lleno de agua por un tiempo de $24h \pm 4h$ para alcanzar un estado de saturación total. Después de cumplido el tiempo de saturación se decanta el agua evitando perder partículas de la muestra y con el cual se obtiene el peso de la masa saturada.

Ilustración 12: material saturado



Fuente: Elaboración propia.

- Después se coloca en la cocineta para que la muestra absorba la humedad superficial, evitando que la muestra quede totalmente seca. Después del proceso en el que la humedad sea la óptima se lo verifica con ayuda del cono truncado pequeño y un pisón.
- Este proceso se lo realiza de la siguiente manera: Se llena el cono truncado de arena previamente húmeda y con la ayuda del pisón se compacta con un total de 25 golpes. Una vez compactado el material se enrasa la superficie y se retira el cono, dejando caer la arena, si se observa un leve desmoronamiento de material, indica que la humedad del

mismo está en su punto óptimo para realizar el ensayo, obteniendo la masa en estado saturado superficialmente seco (SSS).

Ilustración 13: Ensayo de cono truncado.



Fuente: Elaboración propia.

- Posteriormente se pesan 2 muestras de 500 gramos, la una servirá para colocar en el horno y determinar la masa seca, y la otra porción de material servirá para realizar el ensayo del picnómetro; primero se calibra el recipiente con agua y extraen todas las burbujas presentes en el mismo y obtenemos el peso de la masa con el recipiente.

Ilustración 14: Ensayo del picnómetro para agregado fino.



Fuente: Elaboración propia.

- Una vez concluido el ensayo y determinadas las masas en los diferentes estados del material, se procede determinar el peso específico y el porcentaje de absorción del mismo, con ayuda de las fórmulas planteadas por la normativa NTE INEN 856, las cuales se describen en la siguiente tabla.

Tabla 11: Datos obtenidos por el método del picnómetro en el agregado fino

PESO ESPECÍFICO DE LA ARENA: MÉTODO DEL PIGNÓMETRO			
Material Pasante en el Tamiz No. 4			
A=	500.00	g.	PESO DEL MATERIAL SUPERFICIALMENTE SECO Y SATURADO
B=	3421.00	g.	PESO DEL PIGNÓMETRO + AGUA + MUESTRA
C=	3129.00	g.	PESO DEL PIGNÓMETRO + AGUA
D=	480.50	g.	PESO DEL MATERIAL SECO
PESO ESPECÍFICO SECO	$\frac{D}{A - (B - C)}$		2.31 gr/cm ³
PESO ESPECÍFICO SATURADO SUPERFICIALMETE SECO	$\frac{A}{A - (B - C)}$		2.40 gr/cm ³
PESO ESPECÍFICO APARENTE	$\frac{D}{D - (B - C)}$		2.55 gr/cm ³
% DE ABSORCIÓN	$\frac{100(A - D)}{D}$		4.06 %

Fuente: Elaboración Propia.

3.2.5. Desgaste por abrasión de la grava

Este ensayo se lo realiza con el fin de determinar el porcentaje de desgaste de los agregados gruesos, en base a la normativa NTE INEN 861, en el cual se describe el siguiente proceso para llevar a cabo el ensayo denominado Abrasión de los ángeles.

- Para comenzar el ensayo se determinó la masa retenida en cada tamiz, mediante el ensayo de granulometría. Donde se pudo percatar que el mayor porcentaje de masa retenida era en el tamiz de 1/2'', con una masa de 7010 gr.
- Una vez determinado el máximo porcentaje retenido en el tamiz, se escogerá el método que se adapte a la granulometría dada en la tabla 12.

Tabla 12: Granulometrías representativas de los agregados, para selección del método a usar.

TAMAÑO DEL CEDAZO		ASTM C 131				ASTM C 535		
PASA	RETENIDO	A	B	C	D	1	2	3
3"	2 1/2"					2500±50		
2 1/2"	2"					2500±50		
2"	1 1/2"					5000±50	5000±50	
1 1/2"	1"	1250±25					5000±50	5000±50
1"	3/4"	1250±25						5000±50
3/4"	1/2"	1250±10	2500±10					
1/2"	3/8"	1250±10	2500±10					
3/8"	1/4"			2500±10				
1/4"	N°4			2500±10				
N°4	N°8				5000±10			
TOTAL PESO (g)		5000±10	5000±10	5000±10	5000±10	10000±10	10000±75	10000±50
N° DE ESFERAS		12	11	8	6	12	12	12
REVOLUCIONES		500				1000		

Fuente: (LABSP, 2017).

Donde se puede observar que la gradación a emplear es la de Tipo B, con una masa de 2500 gramos de grava retenida en el tamiz de 1/2'' y 2500 gramos de grava retenida en el tamiz de 3/8''.

- Obtenida la masa total de grava, la normativa nos especifica que, para 5000 gr de material, se colocaran 11 esferas y se realizaran 500 revoluciones.

Ilustración 15: Ensayo de abrasión en la máquina de los ángeles.



Fuente: Elaboración propia.

- Posterior al tiempo determinado se retiró el material del cilindro, y se realizó el tamizaje de la fracción fina obtenida mediante el proceso, pasándolo por el tamiz N°12, y se obtuvo el peso del material grueso retenido en este tamiz.

Ilustración 16: Tamizado de la fracción fina.



Fuente: Elaboración propia

- Finalmente se calculó el porcentaje de desgaste del material grueso, aplicando la fórmula definida en la normativa INEN 861:

$$D = \frac{B-C}{B} * 100 = 15.58\% \quad (\text{Ecuación 5})$$

Donde:

B: masa inicial de la muestra de ensayo

C: masa de la muestra retenida en el tamiz N°12, después del ensayo.

Una vez obtenidos los resultados podemos observar que el porcentaje de desgaste es del 15.58%, verificando que cumple con la normativa y con las características adecuadas para ser utilizado en un pavimento.

3.3. Obtención de las fibras del vástago de plátano

Para obtener las fibras del vástago de plátano, se exploraron diversos métodos con el objetivo de lograr una extracción más sencilla y reducir al mínimo el desperdicio. Después de considerar varias opciones, se decidió emplear el método del cepillado como la alternativa más eficaz.

De esta forma se extrajeron los vástagos de la planta de plátano de la provincia del Oro, cantón Zaruma. El costo de adquisición del tallo fue de 0 dólares, por lo que se puede decir que este material no representa un elevado precio en la fabricación del hormigón. Se dio el procedimiento de extracción de las fibras obteniendo primero las vainas del plátano, en otras palabras, las capas que recubren al vástago de la planta como se observa en la Ilustración 17.

Ilustración 17: Obtención de las vainas del vástago de plátano.



Fuente: Elaboración propia.

Una vez obtenidas las vainas del vástago de plátano, se procede a la obtención de las fibras mediante el siguiente proceso:

- Se dejó secar las vainas del vástago en un lapso de 3 días con el fin de obtener fibras con baja humedad.
- Se separaron los tipos de fibras en cada vaina, pues se presentan dos tipos: las de tipo malla y las fibras duras. De las cuales descartamos la de tipo malla debido a que en investigaciones realizadas en casos similares estas fibras no presentan buenas propiedades con respecto a la resistencia y su aplicación es mayormente en el área textil.

Ilustración 18: Separación de las capas de fibras.



Fuente: Elaboración propia.

- Posterior a la separación de las capas, se procede con la extracción de las fibras, este proceso se lo hizo con la ayuda de un cepillo de acero, para así agilizar el proceso.

Ilustración 19: Extracción de las fibras.



Fuente: Elaboración propia.

Una vez obtenidas las fibras mediante el proceso de cepillado, estas estarán expuestas a microorganismos como todo componente orgánico, lo que puede afectar a sus propiedades y en general su comportamiento con el hormigón, es por ello que se realiza un tratamiento con el fin de mantener las propiedades de las fibras el mayor tiempo posible y aumentar su capacidad de adherencia.

Según la investigación realizada por Caizaguano y Terán (2020) acerca del tratamiento químico de las fibras naturales, determinaron que el método más eficaz para tratar estas fibras consiste en la aplicación de hidróxido de cal, utilizando una proporción de 10 gramos de cal por cada litro de agua. Este tratamiento demostró ser efectivo para eliminar impurezas presentes en las fibras y protegerlas contra la proliferación de microorganismos con el tiempo, como los hongos. Además, contribuye a preservar las fibras de la posible alcalinidad, dada por la mezcla de hormigón, evitando así la pérdida de sus propiedades y características distintivas (Caizaguano & Terán, 2020).

Es así que se procedió a darles un tratamiento a las fibras obtenidas teniendo en cuenta las proporciones antes mencionadas, sumergiendo estas fibras por un tiempo de 24 horas bajo la solución preparada de 10gr/L. Una vez concluido el tiempo se retirarán las fibras de la solución y se las lavarán con agua limpia para dejarlas secar a una temperatura ambiente, de tal manera que el sol no interfiera en este proceso.

Ilustración 20: Tratamiento de las fibras de vástago de plátano con hidróxido de cal.



Fuente: Elaboración propia.

3.4. Diseño de la mezcla de hormigón

El diseño de la mezcla de hormigón se basó en el método de Fuller Thomson, este método se empleó debido a que la granulometría de la grava no cumplía con los parámetros descritos para diseñar por el método de la ACI. Por otra parte, se empleó la normativa ACI para refuerzos naturales en el hormigón. Es así que se obtuvieron los datos necesarios para comenzar con el diseño. En la Tabla 13 se muestran los datos necesarios para el diseño del hormigón para una resistencia $f^c = 350 \text{ kg/cm}^2$.

Tabla 13: Datos obtenidos de los ensayos de laboratorio para el diseño del hormigón.

Agregado fino		
Peso específico en S.S.S	2,400	kg/m ³
Peso vol. suelto	1,390	kg/m ³
% Absorción	4.06	
% Humedad	5.48	
MF	2.84	
Agregado grueso		
Peso específico en S.S.S	2,666	kg/m ³
Peso vol. suelto	1,679	kg/m ³
% Absorción	1.69	
% Humedad	0.39	
MF	6.87	
Cemento hidráulico		
Peso específico	3,100	kg/m ³

Fuente: Elaboración propia

Con estos datos obtenidos, se podrá determinar el peso de los materiales que serán colocados en la mezcla de hormigón convencional y con adición de fibras naturales.

3.4.1. Dosificación de hormigón para $f'c = 350 \text{ kg/cm}^2$ sin adición de fibras

Considerando los datos mencionados anteriormente, se procede a diseñar la mezcla con el objetivo de alcanzar una resistencia $f'c = 350 \text{ kg/cm}^2$, lo que resulta en una relación agua-cemento (a/c) de 0.38. Al dosificar la mezcla para un metro cubico (m³) de hormigón, obtenemos las cantidades específicas de cada material, los cuales se encuentran expuestos en la tabla 14.

Tabla 14: Dosificación por m³ de hormigón.

Material	Cantidad	Unidad
Cemento	524	kg
Grava	869.13	kg
Arena	769.23	kg
Agua	192.39	kg

Fuente: Elaboración propia

En este proceso de dosificación se debe tener en cuenta la corrección por humedad de los agregados finos y grueso, es por eso que mencionamos la obtención del porcentaje de humedad natural y real al momento de realizar la mezcla. Además, se agregará un aditivo superplastificante a la dosificación para mejorar la trabajabilidad de la mezcla, en nuestro caso ocupamos el 1.5% de aditivo por el peso del cemento. Esta dosificación nos servirá para la elaboración de vigas y cilindros de hormigón, con el fin de determinar sus propiedades mecánicas, es decir se las empleará para ensayos a flexión y compresión respectivamente.

Obtenidas las cantidades necesarias para la elaboración de los especímenes de hormigón procedemos al pesaje de cada material, es decir la grava, arena, cemento y agua, para posteriormente realizar la preparación de la mezcla, esta se la ejecuto con ayuda de una concreteira.

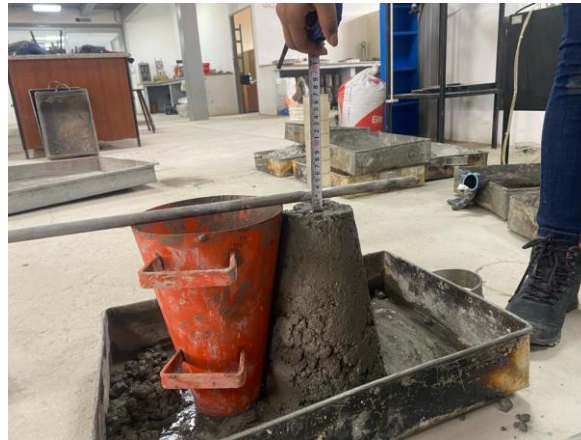
Ilustración 21: Pesaje de material para elaboración del hormigón sin fibras.



Fuente: Elaboración propia.

Después de haber obtenido la mezcla de concreto, se realiza de manera inmediata el ensayo de asentamiento para poder verificar la trabajabilidad de la misma, empleando lo especificado en la norma NTE INEN 1578, con la ayuda del “cono truncado” o más conocido como “cono de Abrams”.

Ilustración 22: Ensayo de asentamiento del hormigón fresco.



Fuente: Elaboración propia.

El asentamiento medido tras la realización de la mezcla fue de 2.5 cm, cumpliendo así con lo establecido en los cálculos de diseño y satisfaciendo los requisitos mínimos determinados para la elaboración de mezclas destinadas a pavimentos rígidos.

3.4.2. Dosificación de hormigón para $f'c=350$ kg/cm² con adición de fibras de vástago de plátano.

La dosificación de esta mezcla coincide con la del hormigón convencional, variando únicamente en la cantidad de cemento que se incluirá en la mezcla. Esto se debe a que se adicionó diferentes porcentajes de fibras de vástago de plátano. Según las investigaciones bibliográficas realizadas, los porcentajes a tener en cuenta para este proyecto son los siguientes: 0.1%, 0.3% y 0.5% de fibras en relación al peso del cemento. Donde la cantidad de cemento inicial se multiplica por el porcentaje de fibra a colocar, teniendo una masa de fibras total que serán colocadas en la mezcla, y la cantidad de cemento final será la resta del cemento inicial menos la masa de fibras obtenida anteriormente, observar la siguiente operación:

$$c_i = 47.68 \text{ kg}$$

$$cant_{fibra} = c_i * \frac{0.1\%}{100} = 0.04768 \text{ kg} \rightarrow c_{final} = c_i - 0.04768 = 47.63 \text{ kg}$$

La dosificación final para cada porcentaje de fibra se encuentra expuesto en la tabla 15, teniendo en cuenta el volumen total de especímenes a elaborar.

Tabla 15: Dosificaciones finales de la mezcla de hormigón con 0.1%, 0.3% y 0.5% de fibras de vástago de plátano.

DOSIFICACION PARA 0.1% DE FIBRAS		
Cemento	47.63	kg
Grava	78.29	kg
Arena	71.06	kg
Agua	17.23	kg
Fibra	0.0476	kg
DOSIFICACION PARA 0.3% DE FIBRAS		
Cemento	47.54	kg
Grava	78.29	kg
Arena	71.06	kg
Agua	17.23	kg
Fibra	0.143	kg
DOSIFICACION PARA 0.5% DE FIBRAS		
Cemento	47.44	kg
Grava	78.29	kg
Arena	71.06	kg
Agua	17.23	kg
Fibra	0.238	kg

Fuente: Elaboración propia.

3.4.2.1. Elaboración de especímenes de hormigón $f'c$ 350 kg/cm² con adición de fibras de vástago de plátano.

La función de los cilindros y vigas de hormigón se elaboraron siguiendo las normativas respectivas las cuales son las siguientes: NTE INEN 3124 para la elaboración y curado de cilindros de hormigón, y la normativa NTE INEN 2554. En base a esto se realizó lo siguiente:

- Se elaboraron en total 9 cilindros de hormigón, 3 moldes para cada porcentaje de fibra empleado en la dosificación. Los cilindros a ocupar son de hierro fundido con medidas de 10 cm de diámetro por 20 cm de alto. Para este proceso se debe asegurar que el molde este bien sujeto a la base y colocar aceite para permitir el fácil desmoldaje del cilindro de hormigón. Las probetas de hormigón se las curará bajo el agua en diferentes fechas de 7, 14 y 28 días.
- Para la elaboración de las vigas, se emplearon 9 encofrados de madera para dos usos, y con medidas de 15x15x50 cm según la normativa (ASTM C31M-19, 2008), y para el curado de las muestras se empleará un tiempo de 28 días.

Para comenzar con la fundición del hormigón se pesó la cantidad respectiva de los materiales a utilizar, en este caso grava, arena, cemento y agua. Por otra parte, comenzamos con el cortado y pesado de las fibras, en este caso se emplearon fibras con una longitud de 12.5 cm y un diámetro aproximado de 0.027 cm, valores que están dentro de la norma ACI 554 IR, y el peso será el respectivo a cada porcentaje de fibra empleado, los cuales están dentro de la tabla de dosificación mostradas anteriormente.

Ilustración 23: Corte y pesaje de las fibras.



Fuente: Elaboración propia.

El proceso de saturación de las fibras del plátano fue una medida estratégica implementada durante la fase de mezcla. Esta técnica se empleó con el propósito específico de evitar que las fibras absorbieran el agua presente en la mezcla. Este enfoque no solo buscaba preservar la integridad de las fibras, sino también mantener la cohesión y la capacidad de trabajo del hormigón.

Ilustración 24: Cantidades de materiales y fibra a incorporar en la mezcla de hormigón.



Fuente: Elaboración propia.

El procedimiento de mezclado consta de varios pasos clave: en primer lugar, es esencial humedecer la concreteira para prevenir que los materiales se adhieran a sus paredes. Posteriormente se debe colocar la grava y arena, e iniciar el proceso de mezclado encendiendo la concreteira y colocando una pequeña parte de agua. Después se colocará el cemento y continuamos el proceso de mezclado agregando el agua por partes. Una vez completada la adición total de agua, se deja mezclar durante 3 minutos, luego se permite que la mezcla repose por otros 3 minutos. Finalmente, se reestablece el mezclado por un período adicional de 2 minutos para asegurar una homogeneización completa.

Ilustración 25:Proceso y vaciado de la mezcla de hormigón.



Fuente: Elaboración propia.

Después de la fabricación del hormigón, se procedió con la elaboración de vigas y cilindros. Primero se elaboraron las vigas colocando capas uniformes y cuidando que no queden espacios vacíos, eliminamos estos espacios con la ayuda de una varilla y un combo de goma, procurando que el encofrado quede totalmente lleno, para posteriormente realizar el enrasado y nivelado de la viga.

Ilustración 26:Elaboración de vigas de hormigón con adición de fibras de vástago de plátano.



Fuente: Elaboración propia.

De igual manera, se llevó a cabo la elaboración de los cilindros de hormigón, siguiendo un proceso específico: en primer lugar, se aplicó una fina capa en el cilindro metálico, sobre la cual se realizaron un total de 25 varillados. Posteriormente, se lo golpeo con un combo de goma para eliminar los espacios vacíos. Luego, se añadió una segunda capa y se realizaron 15 varillados, seguidos por la colocación de la tercera capa hasta cubrir completamente la probeta, efectuando 10 varillados, para finalmente golpearlo por completo con el combo de goma a manera de realizar un vibrado.

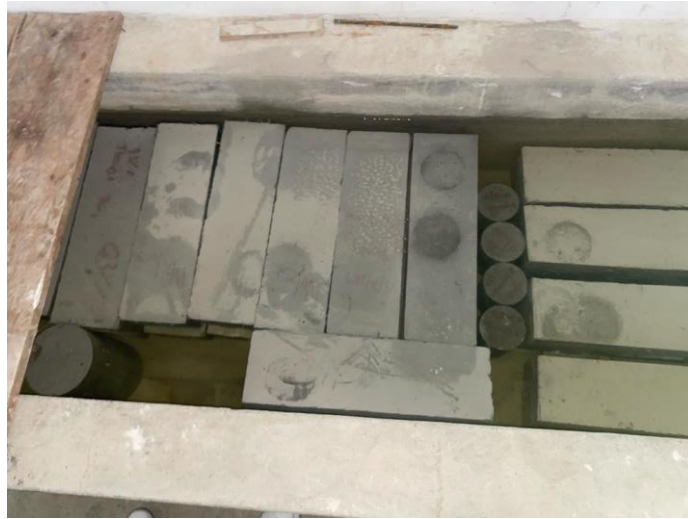
Ilustración 27: Elaboración de cilindro de hormigón con adición de fibras de vástago de plátano.



Fuente: Elaboración propia.

El proceso de curado se lo realizó una vez se haya secado el hormigón, es decir pasadas las 24 horas se desencofraron las vigas y cilindros para ser llevados al agua por determinados tiempos. En el caso de las vigas se las mantendrá bajo el agua en un tiempo de 28 días según lo especifica la normativa, por otra parte, los cilindros se mantendrán bajo el agua durante 7,14 y 28 días, con el fin de que estos alcancen su máxima resistencia y poder elaborar la curva de esfuerzo deformación.

Ilustración 28: Curado de los especímenes.



Fuente: Elaboración propia.

CAPITULO IV

4. ANALISIS DE RESULTADOS

4.1.RESULTADOS DE ENSAYO A COMPRESIÓN

Para los ensayos a compresión se procedió a realizar la rotura de los cilindros a la edad de 7, 14 y 28 días según dicta la normativa INEN. Se ensayaron un total de 15 cilindros, 3 con cada porcentaje de fibra adicionado a la mezcla de hormigón y uno más sin adicionar ningún porcentaje de fibras.



Ilustración 31: Cilindro con el 0.1% de fibras.



Ilustración 29: Cilindro con el 0.3% de fibras.



Ilustración 30: Cilindro con el 0.5% de fibras.

En las Ilustraciones 29, 30 y 31 se puede observar el modo de rotura de los cilindros con el cual podemos comparar de acuerdo a los tipos de rotura expuestos en la normativa INEN 1573, donde el cilindro con adición de 0.1% de fibras presenta una rotura tipo 2 con fisuras verticales y un cono no muy definido, el cilindro con adición de 0.3% de fibras presenta un tipo 3 con fisuras verticales más definidas, y por último el cilindro con adición de 0.5% presenta una rotura tipo 6 donde la rotura comienza en el extremo superior del cilindro.

Tabla 16: Resultados del ensayo a compresión en cilindros a los 7,14 y 28 días.

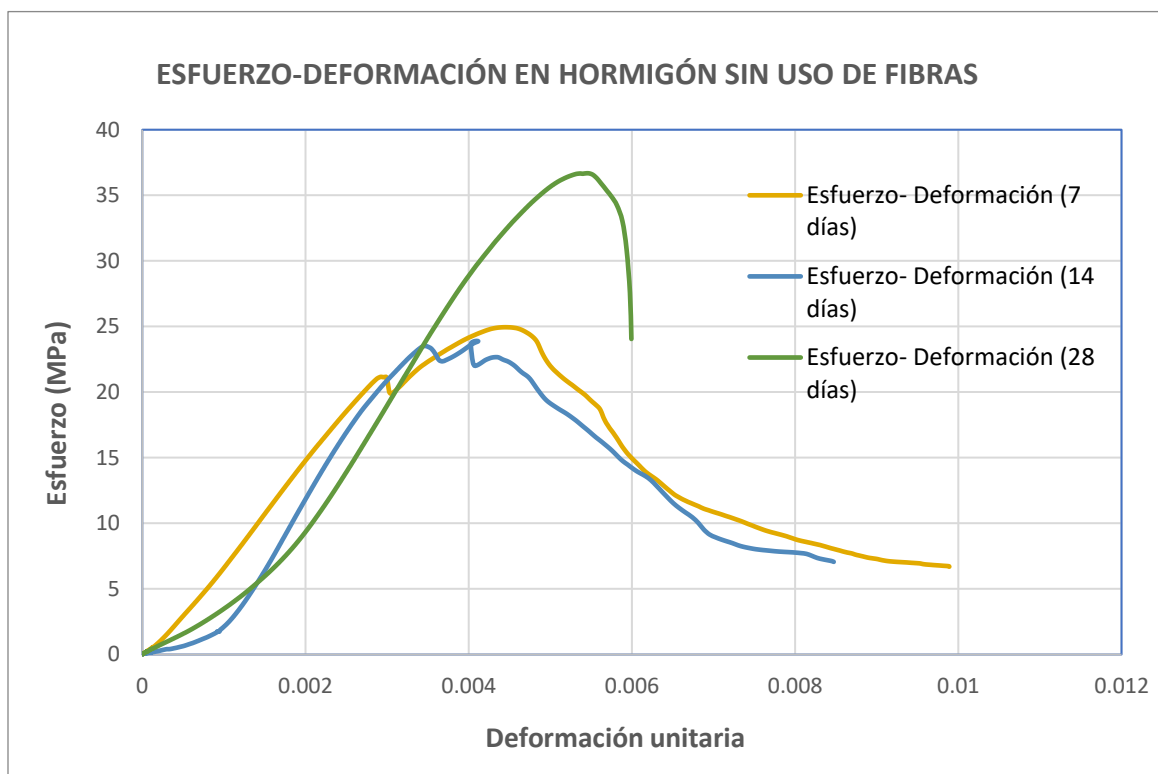
MUESTRA	% DE FIBRA	EDAD (DÍAS)	RESISTENCIA TEÓRICA DEL ENSAYO A COMPRESIÓN (MPA)	ENSAYO A COMPRESIÓN (MPA)	% DE VARIACION
HSF	0.00%	7	22.75	24.94	---
		14	31.50	23.90	
		28	35.00	36.68	
HCF1	0.10%	7	22.75	25.70	9,76
		14	31.50	28.10	
		28	35.00	33.10	
HCF2	0.30%	7	22.75	26.46	13,41
		14	31.50	26.30	
		28	35.00	32.24	
HCF3	0.50%	7	22.75	25.00	4,30
		14	31.50	31.73	
		28	35.00	38.33	

Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla 16 se observan los resultados de resistencia a la compresión. Los cilindros de hormigón sin fibras (HSF) exhibieron una resistencia a la compresión de 36.68 MPa después de 28 días de curado. Por otra parte, al incorporar un 0.1% de fibra respecto al % de cemento, la resistencia fue de 33.10 MPa, representando una variación negativa del 9.76% en comparación con el hormigón convencional. Con la adición de un 0.3% de fibras, la resistencia a compresión alcanzó los 32.24 MPa, con una variación negativa del 13.41% respecto al hormigón convencional. Finalmente, al incluir un 0.5% de fibras, la resistencia fue de 38.33 MPa, mostrando una variación positiva del 4.30% en comparación con el hormigón convencional.

A continuación, se muestran los resultados de las gráficas de esfuerzo-deformación de los hormigones con la adición de fibras de plátano a los 7, 14 y 28 días.

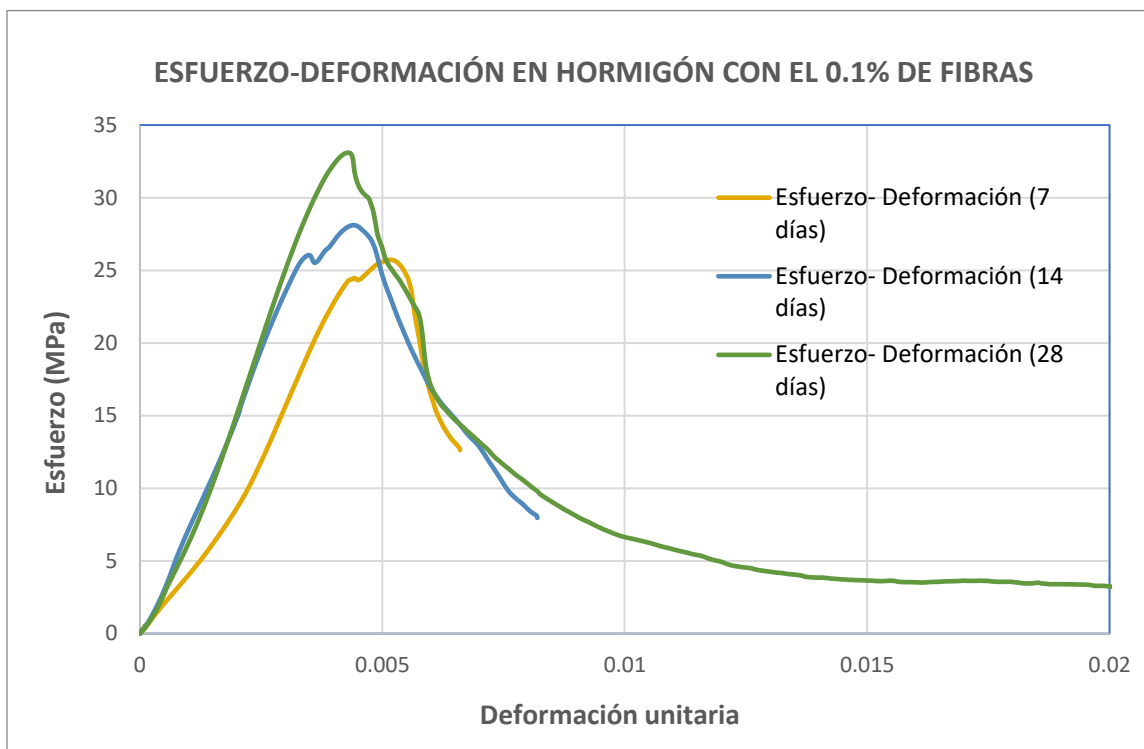
Ilustración 32: Curva Esfuerzo-Deformación del hormigón sin adición de fibras a los 7, 14 y 28 días.



Fuente: Elaboración propia.

En la ilustración 32 se aprecia la relación entre el esfuerzo y la deformación a los 7, 14 y 28 días de curado. Se puede evidenciar que el cilindro logró resistir un esfuerzo de 36.68 MPa a los 28 días, y esto se logró sin la incorporación de ningún porcentaje de fibras. Por lo tanto, se ha cumplido con el objetivo de diseño para una resistencia f'_c de 35 MPa.

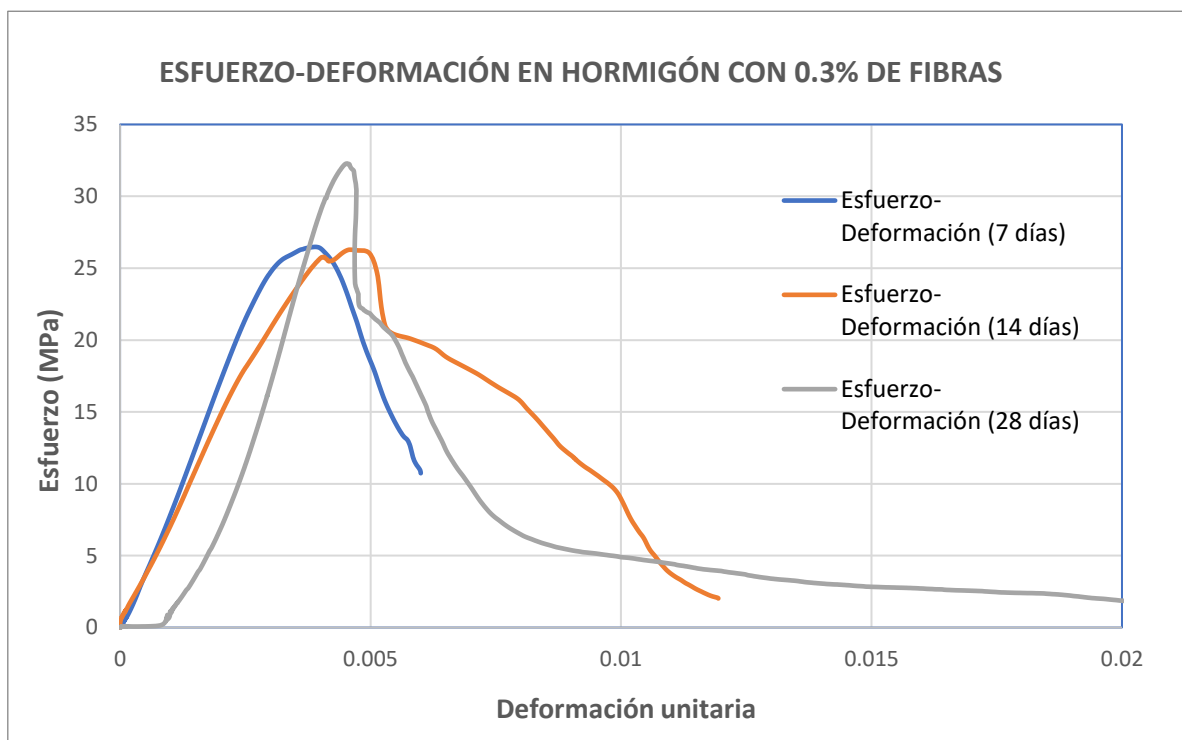
Ilustración 33: Curva Esfuerzo-Deformación del hormigón con adición de 0.1% fibras de plátano a los 7, 14 y 28 días.



Fuente: Elaboración propia.

En la Ilustración 33 se observa la relación entre el esfuerzo y la deformación a los 7, 14 y 28 días de curado del hormigón con la adición de 0.1% de fibras de vástago de plátano. Se puede apreciar que el cilindro logró resistir un esfuerzo de 33.10 MPa a los 28 días, presentando una disminución de la resistencia con respecto al hormigón convencional.

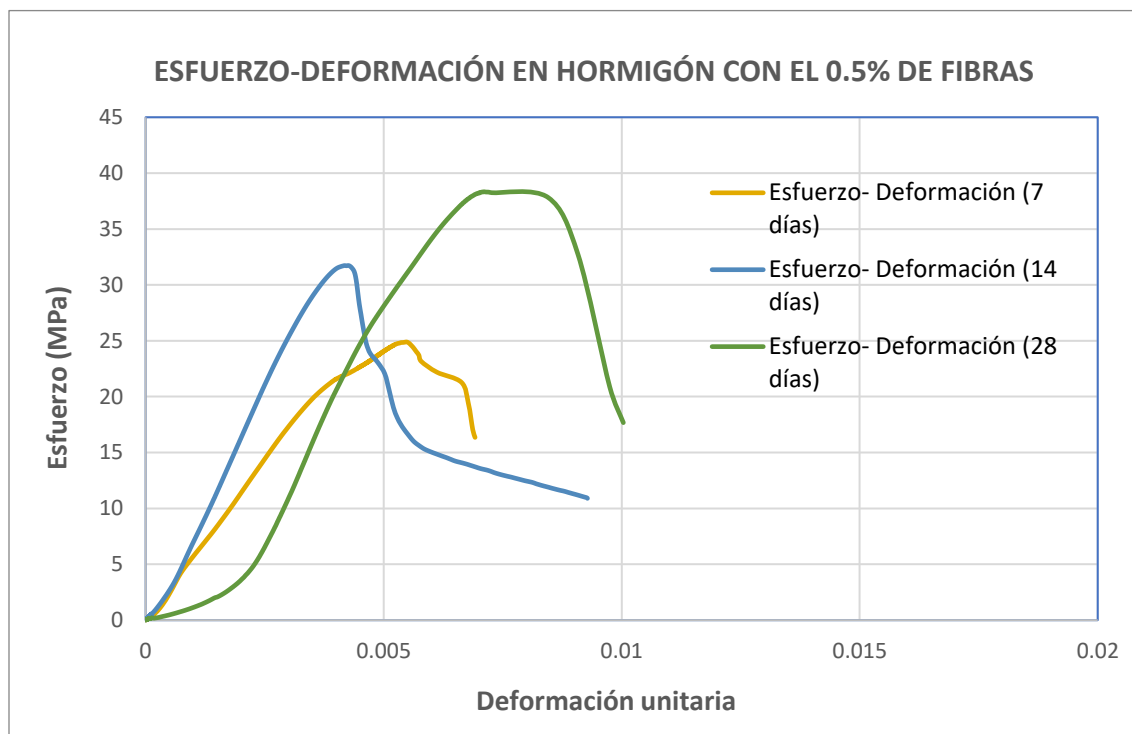
Ilustración 34: Curva Esfuerzo-Deformación del hormigón con adición de 0.3% fibras de plátano a los 7, 14 y 28 días.



Fuente: Elaboración propia.

En la Ilustración 34 se aprecia la relación entre el esfuerzo y la deformación después de los 7, 14 y 28 días del hormigón con adición de 0.3% fibras de plátano. Se puede evidenciar que nuestro cilindro logró resistir un esfuerzo de 32.24 MPa pasado los 28 días. Presentando una disminución de la resistencia con respecto al hormigón convencional, no logrando llegar a la resistencia del diseño de 35 MPa. Con el cual, se puede notar que este porcentaje de fibras no resulta beneficioso para mejorar las propiedades del hormigón.

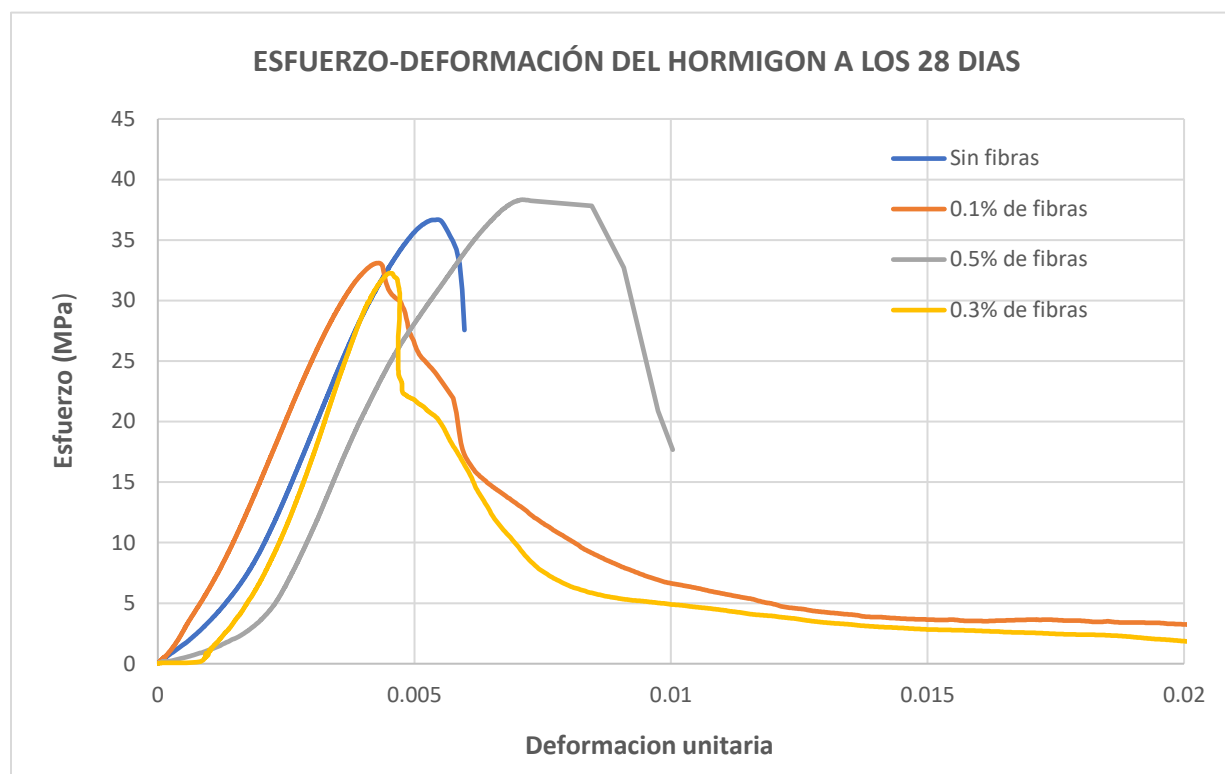
Ilustración 35: Curva Esfuerzo-Deformación del hormigón con adición de 0.5% fibras de plátano a los 7, 14 y 28 días.



Fuente: Elaboración propia.

En la Ilustración 35 se observa la relación entre el esfuerzo y la deformación después de los 7, 14 y 28 días del hormigón con la incorporación del 0.5% de fibras. Se puede apreciar que el cilindro logró resistir un esfuerzo de 38.33 MPa pasados los 28 días. Presentando un aumento del 4.3% en la resistencia con respecto al hormigón convencional. Lo que resulta beneficioso para la mejora de las propiedades del hormigón en cuanto al porcentaje de fibra agregado.

Ilustración 36: Curva Esfuerzo-Deformación del hormigón sin fibras, con el 0.1%, 0.3% y con el 0.5%, luego de 28 días.



Fuente: Elaboración propia.

En la Ilustración 36 se puede apreciar la relación entre el esfuerzo y la deformación después de los 28 días del hormigón, tanto sin agregar fibras como con la incorporación de diferentes porcentajes de fibras: 0.1%, 0.3% y 0.5%. De acuerdo con los resultados de las pruebas de compresión realizadas en los cilindros, la gráfica indica que la inclusión de fibras al 0.5% del peso del cemento proporciona una resistencia superior en comparación con el hormigón convencional, además, la aplicación del 0.1% y el 0.3% de fibras al hormigón, resulta significativamente menor a la resistencia que presenta la aplicación de fibras al 0.5%.

4.2. RESULTADOS DE ENSAYO A FLEXIÓN

Los ensayos a flexión en vigas se llevaron a cabo en la edad de 28 días de curado, según dicta la norma NTE INEN 2554, se realizó el siguiente procedimiento: Se extrajeron las vigas de la piscina de curado, y posteriormente se marcaron las vigas en tres puntos donde irán colocados los apoyos y las fuerzas que se menciona en la normativa, estos puntos irán en cada tercio de la luz libre, como se observa en la Ilustración 37.

Se ensayaron un total de 12 vigas, 3 con cada porcentaje de fibra agregado a la mezcla de hormigón.

Ilustración 37: Marcación y ensayo de las vigas



Fuente: Elaboración propia.

Después de realizar el ensayo a flexión se puede observar en la Ilustración 38 el modo de rotura de la viga, el cual está dentro del tercio medio de la luz libre, con el cual podemos aplicar la fórmula correspondiente para calcular el módulo de rotura, la fórmula aplicada es la siguiente y está dispuesta en la normativa mencionada anteriormente:

$$R = \frac{P*L}{b*d^2} \quad (\text{Ecuación 6})$$

Donde:

R: Modulo de rotura en MPa.

P: Carga máxima en N.

L: luz libre en cm.

b: promedio ancho espécimen en la fractura, mm

d: promedio alto espécimen en la fractura, mm

Ilustración 38: Rotura en el tercio medio de la luz de la viga de hormigón.



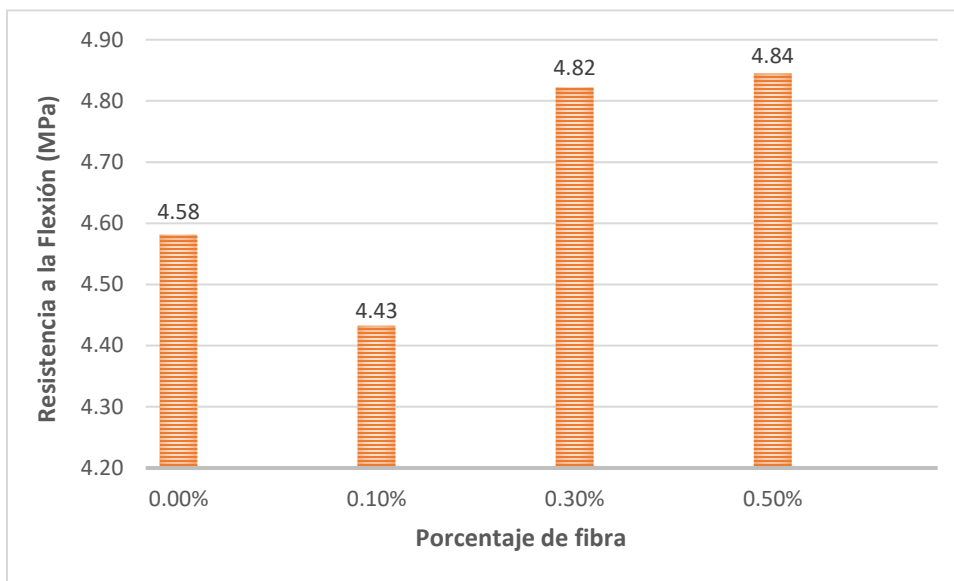
Fuente: Elaboración propia.

Tabla 17: Resultados del ensayo a flexión en vigas a los 28 días.

MUESTRA	% DE FIBRA	EDAD (DIAS)	MODULO DE ROTURA (MPa)	MODULO DE ROTURA PROMEDIO (MPa)	% DE VARIACION
HSF	0.00%	28	4.70	4.581	---
		28	4.41		
		28	4.62		
HCF1	0.10%	28	4.37	4.433	3.24%
		28	4.42		
		28	4.50		
HCF2	0.30%	28	4.92	4.822	5.25%
		28	4.79		
		28	4.74		
HCF3	0.50%	28	4.96	4.845	5.76%
		28	4.70		
		28	4.86		

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 17 se pueden observar los resultado de resistencia a flexión, el hormigón sin fibras (HSF) alcanza un valor de módulo de rotura de 4.581 MPa, por otro lado los valores presentados al adicionar 0.1% de fibra con respecto al peso del cemento es de 4.433 MPa obteniendo una disminución del 3.24% con respecto al hormigón convencional, al adicionar 0.3% de fibras la resistencia a flexión aumentó hasta un 4.822 MPa, teniendo un porcentaje positivo de variación con el hormigón convencional del 5.25%, por último al adicionar 0.5% de fibras se tiene una resistencia de 4.845 MPa y una variación positiva de 5.76% del hormigón convencional.

Ilustración 39: Resistencia a flexión en vigas.

Fuente: Elaboración propia.

La Ilustración 39 muestra una variación en cuanto al módulo de rotura con distintos porcentajes de adición de fibras. Se evidencia que al agregar 0.5% de fibras de plátano al hormigón, se obtiene una mejora significativa de la resistencia a flexión en comparación con las demás vigas.

Según la normativa AASHTO 93, la resistencia a flexión o Módulo de rotura del hormigón está en un rango del 8 al 15% de la resistencia a compresión (AASHTO, 1993). Por lo tanto, las vigas con y sin adición de fibras de plátano cumplen con lo antes mencionado, además se debe tener en cuenta que el módulo de rotura es uno de los parámetros más significativos al momento de diseñar un pavimento rígido, ya que al obtener un módulo de rotura alto se asegura que va a resistir un alto tráfico vehicular y por consiguiente se logrará minimizar la aparición de fisuras.

CAPITULO V

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1.CONCLUSIONES

- El estado de incorporación de las fibras de vástago de plátano al hormigón influye de manera significativa a la trabajabilidad de la mezcla, pues mientras más seca estén las fibras, mayor cantidad de agua absorben de la mezcla. Por ende, se humedecieron las fibras antes de ser agregadas a la mezcla, evitando así la absorción de la cantidad de agua dosificada, y además se pudo impedir los cambios en las propiedades del fraguado del hormigón.
- Los materiales empleados para el diseño del hormigón han sido un factor importante pues las características que estas presentan ayudan a mejorar la resistencia del hormigón fraguado, en este caso los agregados de la minera Rookaazul presentaron buenas características en cuanto a los ensayos de granulometría y densidad, además sus proporciones en el diseño eran las adecuadas para llegar a la resistencia planteada de 35 MPa.
- En cuanto al ensayo a compresión de los cilindros se puede concluir diciendo que la muestra sin adición de fibras alcanzó una resistencia adecuada ya que logró resistir 36.6 MPa, por otro lado con la incorporación de fibras la resistencia se vio afectada, ya que la muestra con una adición del 0.10% y la muestra con el 0.30% presentó un disminución en su resistencia en un 9.83% aproximadamente en comparación a la muestra sin adicionar

fibras, por otro lado la muestra con una adición del 0.50% tuvo un incremento en su resistencia de un 4.64% en comparación a la muestra original. Por lo tanto, se puede decir que este porcentaje ha mejorado las propiedades y el comportamiento del hormigón.

- En cuanto a la resistencia a flexión de las vigas de hormigón, se determinó que, adicionando las fibras del plátano, las propiedades de resistencia a flexión mejoraron con respecto al hormigón convencional, pues al adicionar el 0.5% de fibras se obtuvo un valor de 4.845 MPa, evidentemente alto con relación al HSF teniendo un porcentaje de aumento de hasta el 5.76%. Por otro lado, se puede demostrar que al adicionar un porcentaje de fibras del 0.1% la resistencia a la flexión no es favorable para mejorar las propiedades del hormigón puesto que presenta una variación del 3.24% con respecto al hormigón convencional y si lugar a duda no mejora el comportamiento del hormigón para uso de pavimentos rígido, puesto a que el módulo de rotura es un valor indispensable para el diseño de la estructura.

5.2.RECOMENDACIONES

- Se recomienda utilizar las fibras en estado saturado al momento de adicionar a la mezcla, para evitar la absorción de la cantidad de agua de la dosificación.
- Se recomienda darle continuidad a la investigación con porcentajes alrededor de 0.5 %, para determinar porcentajes óptimos de fibras de vástago de plátano, con el fin de determinar el comportamiento de estas dentro de la mezcla y además cuál es su aporte en cuanto a las características mecánicas del hormigón.
- Realizar investigaciones complementarias con otro tipo de tratamiento químico a las fibras de vástago de plátano, para mantener la vida útil dentro del hormigón, ya que, al ser un material natural, tiende a degradarse rápidamente.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

AASHTO. (1993). GUIDE FOR DESIGN OF PAVEMENT STRUCTURES. In *AMERICAN ASSOCIATION OF STATE HIGHWAY AND TRANSPORTATION OFFICIALS (AASHTO)*.

ACI 544.1R-96. (2002). *Report on Fiber Reinforced Concrete*.

Ahmed, H. Q., Jaf, D. K., & Yaseen, S. A. (2020). Comparison of the Flexural Performance and Behaviour of Fly-Ash-Based Geopolymer Concrete Beams Reinforced with CFRP and GFRP Bars. *Advances in Materials Science and Engineering*, 2020. <https://doi.org/10.1155/2020/3495276>

Álvarez, E., León, S., Sánchez, M., & Cusme, B. (2020). Socioeconomic evaluation of plantain production in the northern area of the Los Ríos Province. *Journal of Business and Entrepreneurial*, 4(2), 86–95. <https://doi.org/10.37956/jbes.v4i2.78>

ASTM C31M-19. (2008). Standard Practice for Making and Curing Concrete Test Specimens in the Field. *American Society for Testing and Materials (ASTM)*. https://doi.org/10.1520/C0031_C0031M-19

Baquerizo, C. D., & Lazo, G. (2019). *Estudio del comportamiento de la resistencia del concreto $F'c$ 210kg/cm² adicionando fibras de tallo del plátano*.

Bolívar, O. G. (1987). *GUIA PRACTICA PARA EL DISEÑO DE MEZCLAS DE HORMIGÓN*.

Cabrera, F. M. (2010). LA SELECCIÓN SOSTENIBLE DE LOS MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN. *Revista de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente* , 3. http://www.uax.es/publicaciones/archivos/TECMAD10_001.pdf

Caizaguano, O. P., & Terán, G. E. (2020). *CARACTERIZACIÓN DEL HORMIGÓN CON FIBRAS NATURALES DEL RAQUIS DE LA PALMA AFRICANA DE ACEITE Y LA ESTOPA DEL COCO*. Escuela Politecnica Nacional.

Chairunnisa, N., Nurwidayati, R., & Gusti Muhammad Madani, S. (2022). THE EFFECT OF NATURAL FIBER (BANANA FIBER) ON THE MECHANICAL PROPERTIES OF SELF-COMPACTING CONCRETE. *Journal of Applied Engineering Science*, 20(2), 331–338. <https://doi.org/10.5937/jaes0-32879>

Chan Yam, J., Solís, R., & Moreno, E. (2003). Influencia de los agregados pétreos en las características del concreto. *Revista Academica de Ingeniería*, 7(2), 39–46.

Cifuentes Sánchez, W. G., & Cifuentes Rivera, E. (2019). *PROPUESTA DE APROVECHAMIENTO DE LA FIBRA DE PLÁTANO EN LA REGIÓN DEL ARIARI DEPARTAMENTO DEL META*. Universidad Pontificia Bolivariana.

David Armas, R., Steven Ruiz, G., Marcelo, P., Luis Carrión, M., & Christian, N. M. (2016). Caracterización de propiedades mecánicas de las fibras de banano de la corteza y el cuerpo del tallo. *Caracterización de Propiedades Mecánicas de Las Fibras de Banano de La Corteza y El Cuerpo Del Tallo*, 20(1), 21–31.

El-Nadoury, W. W. (2020). Applicability of Using Natural Fibers for Reinforcing Concrete. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 809(1). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/809/1/012018>

Enciso, B., López de Armentia, S., Abenojar, J., & Matínez, M. A. (2017). Influencia del tratamiento superficial en la resistencia y adhesión entre fibras naturales de lino y una matriz termoplástica. *Revista de La Asociación Española de Materiales Compuestos*, 2(3), 40–43.

- Erazo, M. A., Prado, E., Cervantes, A., & Vite, H. (2021). REGULATION'S ANALYSIS OF BANANA BOX PRICE IN ECUADOR FROM 2015 TO 2020. *Revista Metropolitana de Ciencias Aplicadas*, 4(S1), 211–217. <https://orcid.org/0000-0002-0225-5264>
- Fabricio, I., Villacorta, L., Adriana, I., & Nordbeck, V. (2014). STOCHASTIC ANALYSIS OF CONTINUOUSLY REINFORCED CONCRETE PAVEMENTS. *Revista Infraestructura Vial*, 16, 25–32. <https://doi.org/https://doi.org/10.15517/iv.v16i28.14464>
- Fernández, F. M., Pico, J. T., & Avellán, B. A. (2021). *Guía para la producción y manejo integrado del cultivo de plátano* (1era Ed.). www.agricultura.gob.ec
- Freire, E. N., & Quizhpi, M. A. (2022). *DISEÑO Y COMPARACIÓN DE PROPIEDADES DE UN MICROPAVIMENTO CON ASFALTO EMULSIONADO MODIFICADO CON POLÍMEROS Y ASFALTO EMULSIONADO MODIFICADO CON RESINA DE POLIURETANO*. Universidad Católica de Cuenca.
- Fuentes, A. (2022). *Influencia de la fibra de vástago de plátano en las propiedades del concreto $f'c$ 280 kg/cm² para el pavimento rígido, avenida Cultura, Cusco 2022* [Escuela profesional de ingeniería civil]. <https://orcid.org/0000-0002-5256-4161>
- Godoy, A. J., & Ramírez, R. F. (2006). Patología de pavimentos rígidos en la ciudad de Asunción. *Universidad Nacional de Asunción*, 1–8.
- Gonzalez, E., & Riviera, R. (2023). *ANÁLISIS DEL EFECTO QUE PRODUCE LA ADICIÓN DE FIBRAS DE BANANO MODIFICADAS EN EL CONCRETO HIDRAULICO*. Universidad de Cartagena.

J.R. Luna-Aroche, & R.A. Salguero-Girón. (2006). Estudios de calidad de agregados para concreto (en Guatemala), aplicando las normas ASTM C-33, C-131, C-295 y C-289. *Boletín Geológico y Minero*, 4, 687–694.

LABSP. (2017). Desgaste Máquina de los Ángeles. *LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTO*.

León Ajila, J. P., Espinosa Aguilar, M. A., Carvajal Romero, H. R., & Quezada Campoverde, J. (2023). Análisis de la producción y comercialización de banano en la provincia de El Oro en el periodo 2018-2022. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 7(1), 7494–7507. https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v7i1.4981

Llontop, C. M. J., & Ruiz, M. del C. (2019). *MEZCLA CON FIBRA DE ZANAHORIA PARA MEJORAR LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DEL HORMIGÓN*. Universidad Ricardo Palma.

López, D., & García, C. (2020). *Incidencia de las patologías del concreto hidráulico en el pavimento rígido tramo Plaza de Armas-Jirón Leguía y Jirón San Martín en el distrito de Tarapoto* [Universidad Nacional de San Martín]. <https://repositorio.unsm.edu.pe/bitstream/11458/4019/1/CIVIL%20-%20Diego%20Antony%20L%c3%b3pez%20Macedo%20%26%20Carlos%20David%20Garc%c3%ada%20Arirama.pdf>

Márquez, G. (2001). De la abundancia a la escasez. La transformación de ecosistemas en Colombia. *La Naturaleza En Disputa*, 1–86.

Martín Sendra, A. (2021). Estudio Comparativo De Fibras Naturales Para Reforzar El Hormigón. *Angewandte Chemie International Edition*, 6(11), 951–952., 2013–2015.

- Mendoza, J., Vásquez, A., & Villa, M. (2012). *ANÁLISIS DEL ESFUERZO RESIDUAL EN CONCRETO PARA PAVIMENTO RIGIDO REFORZADO CON FIBRAS METÁLICAS Y SINTÉTICAS*. Universidad Militar Nueva Granada.
- NEC. (2015). ESTRUCTURAS DE HORMIGÓN ARMADO. In *NORMA ECUATORIANA DE LA CONSTRUCCIÓN*. (pp. 79–88).
- NTE INEN 695. (2010). MUESTREO. *INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN (INEN)*.
- NTE INEN 696. (2011). ANALISIS GRANULOMÉTRICO EN LOS ARIDOS FINOS Y GRUESOS. *INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACION (INEN)*.
- NTE INEN 856. (2010). DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD, DENSIDAD RELATIVA (GRAVEDAD ESPECÍFICA) Y ABSORCIÓN DEL ÁRIDO FINO. *INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN (INEN)*.
- NTE INEN 857. (2010). DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD, DENSIDAD RELATIVA (GRAVEDAD ESPECÍFICA) Y ABSORCIÓN DEL ÁRIDO GRUESO. *INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN (INEN)*.
- NTE INEN 861. (2011). DETERMINACIÓN DEL VALOR DE LA DEGRADACIÓN DEL ÁRIDO GRUESO DE PARTÍCULAS MAYORES A 19mm MEDIANTE EL USO DE LA MÁQUINA DE LOS ÁNGELES. *INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN (INEN)*.
- NTE INEN 872. (2011). ÁRIDOS PARA HORMIGONES. REQUISITOS. *INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN (INEN)*.

NTE INEN 1573. (2010). DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE ESPECÍMENES DE HORMIGÓN DE CEMENTO HIDRÁULICO. *INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN (INEN)*.

NTE INEN 1578. (2010). DETERMINACION DEL ASENTAMIENTO. *INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN (INEN)*.

NTE INEN 2554. (2011). DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA FLEXIÓN DEL HORMIGÓN. (UTILIZANDO UNA VIGA CON CARGA EN LOS TERCIOS). *INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN (INEN)*.

Revelo, C. (2016). *ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN CON: ESCORIA VOLCÁNICA COMO SUSTITUTO DEL AGREGADO GRUESO Y ARENA VOLCÁNICA COMO SUSTITUTO DEL AGREGADO FINO*. Universidad Técnica de Ambato.

Ríos, M. (2018). *REGISTRO DE LOS SISTEMAS CONSTRUCTIVOS CON FIBRAS NATURALES EN LA CONSTRUCCIÓN DEL CANTÓN LOJA-ENSAYO Y PROPUESTA DE UN ADOBE MEJORADO*.

Rodríguez, F. (2015). *CARACTERIZACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS DE LOS AGREGADOS FINOS Y GRUESOS CON MAYOR DEMANDA EN LA CIUDAD DE TUNJA*. Universidad Santo Tomás.

Romero, L., & Vega, M. P. (2019). *ESTUDIO DEL EFECTO EN DIFERENTES CANTIDADES DE FIBRA DE VÁSTAGO DE PLÁTANO EN PROPIEDADES FISICO MECANICAS DEL CONCRETO HIDRÁULICO PARA PAVIMENTO*. Universidad Piloto de Colombia.

Ruano, G., Oller, S., Nallim, L. G., & Juan Vera. (2017). *MODELO NUMÉRICO PARA EL ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE MATERIALES CEMENTICIOS REFORZADOS CON FIBRAS NATURALES*.

<http://www.ing.unsa.edu.ar><http://www.cimne.upc.es><http://www.amcaonline.org.ar>

Salvatierra Espinosa, A. B., Pérez Martínez, A., & Rodríguez Fernández, A. (2022). Estructura de mercado del cemento en Ecuador de 2010 a 2020. *Revista de Coyuntura y Perspectiva*, 7(1), 1–47. <https://doi.org/1026274>


Sánchez de Guzmán, D. (2002). *TECNOLOGIA DEL CONCRETO Y DEL MORTERO* (Vol. 5). Biblioteca de la Construcción. <https://books.google.com.co/books?id=EWq-QPJhsRAC&printsec=copyright&hl=es&pli=1#v=onepage&q&f=false>

Steven H. Kosmatka, Beatrix Kerkhoff, William C. Panarese, & Jussara Tanes. (2004). *Diseño y control de mezclas de concreto* (1st ed.). Portland Cement Association.

Tamara, C. M. (2021). *Diseño de concreto $f'c=210\text{kg/cm}^2$ adicionando fibra del pseudotallo de plátano para mejorar su comportamiento mecánico*. Universidad César Vallejo.

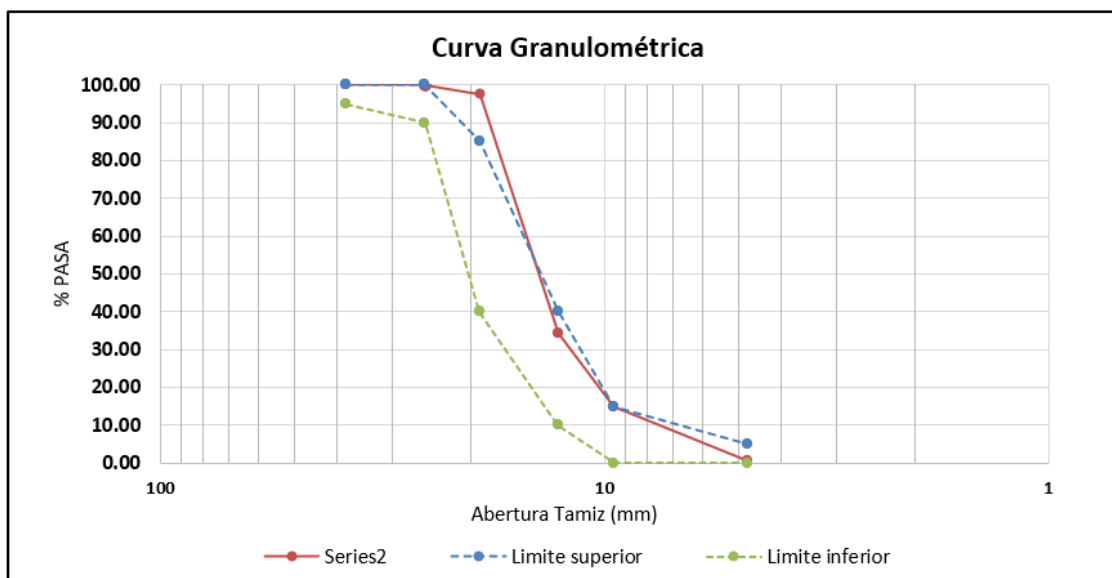
ANEXOS

Anexo 1: Granulometría de la grava

 Universidad Católica de Cuenca	FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL	
	LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN	
GRANULOMETRÍA DE LA GRAVA		
PROYECTO:	Proyecto de titulación	
MUESTRA:	Grava 3/4	
SOLICITADO POR :	Jhandry Asanza y Michelle Miñarcaja	
FECHA:	5/10/2023	

TAMIZ Nº	ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO (gramos)	% RETENIDO	% RETENIDO ACUMULADO	% PASA	ESPECIFICACIONES NORMA	
						LÍMITE SUPERIOR	LÍMITE INFERIOR
1 1/2"	38.1	0.00	0.00	0.00	100.00	100.00	95.00
1"	25.4	0.00	0.00	0.00	100.00	100.00	90.00
3/4"	19.1	285	2.29	2.29	97.71	85.00	40.00
1/2"	12.7	7910	63.55	65.84	34.16	40.00	10.00
3/8"	9.52	2411	19.37	85.21	14.79	15.00	0.00
Nº4	4.76	1792	14.40	99.61	0.39	5.00	0.00
Fondo		48.5	0.39	100.00	0.00	0.00	0.00

Peso antes del ensayo (gramos) =	12454.5	Peso después del ensayo (gramos) =	12446.50
---	---------	---	----------

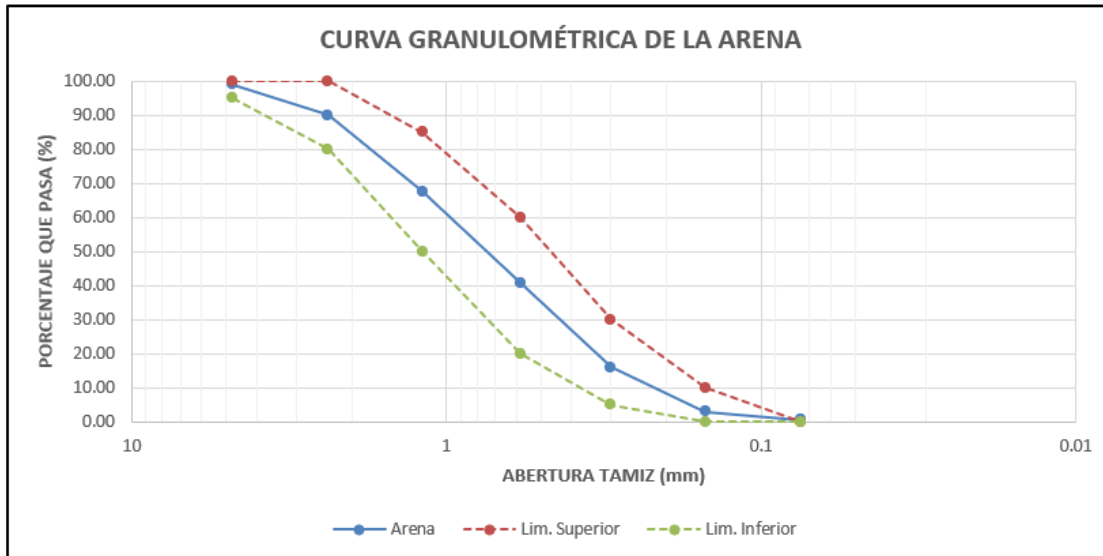


Anexo 2: Granulometría de la Arena

 Universidad Católica de Cuenca	FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL	
	LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN	
GRANULOMETRÍA DE LA ARENA		
PROYECTO:	Proyecto de titulacion	
MUESTRA:	arena	
SOLICITADO POR :		
FECHA:	5/10/2023	

TAMIZ Nº	ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO (gramos)	% RETENIDO	% RETENIDO ACUMULAD O	% PASA	ESPECIFICACIONES NORMA	
						LÍMITE SUPERIOR	LÍMITE INFERIOR
1"	25.4						
3/4"	19.1						
1/2"	12.7						
3/8"	9.52						
Nº4	4.76	5.50	1.09	1.09	98.91	100.00	95.00
Nº8	2.38	44.50	8.86	9.95	90.05	100.00	80.00
Nº16	1.19	113.50	22.59	32.54	67.46	85.00	50.00
Nº30	0.58	134.50	26.77	59.30	40.70	60.00	20.00
Nº50	0.3	124.50	24.78	84.08	15.92	30.00	5.00
Nº100	0.15	65.00	12.94	97.01	2.99	10.00	0.00
Nº200	0.075	12.50	2.49	99.50	0.50	0.00	0.00
FONDO		2.5					
TOTAL		502.5					

Peso antes del ensayo (gramos) =	500	Peso húmedo antes del lavado (gramos) =	
Peso después del ensayo (gramos) =	500	Peso seco antes del lavado (gramos) =	500
% Humedad=		Peso seco después del lavado (gramos) =	



Anexo 3: Peso específico de la grava y de la arena

PESO ESPECÍFICO DE LA GRAVA: MÉTODO DEL PIGNÓNMETRO			
A=	636.60	g.	PESO DEL MATERIAL SUPERFICIALMENTE SECO Y SATURADO
B=	3526.00	g.	PESO DEL PIGNÓNMETRO + AGUA + MUESTRA
C=	3129.00	g.	PESO DEL PIGNÓNMETRO + AGUA
D=	626.00	g.	PESO DEL MATERIAL SECO
PESO ESPECÍFICO SECO	$\frac{D}{A - (B - C)}$		2.61 gr/cm ³
PESO ESPECÍFICO SATURADO SUPERFICIALMENTE SECO	$\frac{A}{A - (B - C)}$		2.66 gr/cm ³
PESO ESPECÍFICO APARENTE	$\frac{D}{D - (B - C)}$		2.73 gr/cm ³
% DE ABSORCIÓN	$\frac{100(A - D)}{D}$		1.693 %

PESO ESPECÍFICO DE LA ARENA: MÉTODO DEL PIGNÓMETRO			
Material Pasante en el Tamiz No. 4			
A=	500.00	g.	PESO DEL MATERIAL SUPERFICIALMENTE SECO Y SATURADO
B=	3421.00	g.	PESO DEL PIGNÓMETRO + AGUA + MUESTRA
C=	3129.00	g.	PESO DEL PIGNÓMETRO + AGUA
D=	480.50	g.	PESO DEL MATERIAL SECO
PESO ESPECÍFICO SECO	$\frac{D}{A - (B - C)}$		2.31
PESO ESPECÍFICO SATURADO SUPERFICIALMETE SECO	$\frac{A}{A - (B - C)}$		2.40
PESO ESPECÍFICO APARENTE	$\frac{D}{D - (B - C)}$		2.55
% DE ABSORCIÓN	$\frac{100(A - D)}{D}$		4.06

Anexo 4: Diseño método de Fuller Thomson



Modulos granulometricos																															
$MG_{arena} = \frac{1000 \cdot \sum_{i=1}^{25} \% \text{ que PASAN}}{100}$		Ecuaciones																													
MG arena	2.835	$2.835 * a + 7.53 * g = 5.458(a + g)$																													
MG grava	7.530	$a + g = 100$																													
MG Fuller	5.458																														
		<table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <tr> <td style="text-align: center;">a</td> <td style="text-align: center;">50.0000</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">g</td> <td style="text-align: center;">50.0000</td> </tr> </table>	a	50.0000	g	50.0000																									
a	50.0000																														
g	50.0000																														
1. Selección de la resistencia requerida																															
f'c	350 kg/cm2																														
<table border="1" style="width: 100%;"> <thead> <tr> <th style="text-align: center;">F'c especificado (kg/cm2)</th> <th style="text-align: center;">f'cr (kg/cm2)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: center;">Menor a 210</td> <td style="text-align: center;">f'c+70</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">Entre 210 a 350</td> <td style="text-align: center;">f'c+84</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">Mayor a 350</td> <td style="text-align: center;">f'c+98</td> </tr> </tbody> </table>	F'c especificado (kg/cm2)	f'cr (kg/cm2)	Menor a 210	f'c+70	Entre 210 a 350	f'c+84	Mayor a 350	f'c+98	<table border="1" style="width: 100%;"> <tr> <td style="text-align: center;">f'cr</td> <td style="text-align: center;">434 kg/cm2</td> </tr> </table>	f'cr	434 kg/cm2																				
F'c especificado (kg/cm2)	f'cr (kg/cm2)																														
Menor a 210	f'c+70																														
Entre 210 a 350	f'c+84																														
Mayor a 350	f'c+98																														
f'cr	434 kg/cm2																														
2. Selección del tamaño maximo del agregado grueso																															
<table border="1" style="width: 100%;"> <tr> <td style="text-align: center;">TMN</td> <td style="text-align: center;">1"</td> </tr> </table>	TMN	1"																													
TMN	1"																														
3. Selección del asentamiento																															
<table border="1" style="width: 100%;"> <thead> <tr> <th style="text-align: center;">Consistencia</th> <th style="text-align: center;">Asentamiento (cm)</th> <th style="text-align: center;">Fluidez (Z)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: center;">Seca</td> <td style="text-align: center;">0 - 2</td> <td style="text-align: center;">0 - 40</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">Plástica</td> <td style="text-align: center;">2 - 5</td> <td style="text-align: center;">40 - 70</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">Blanda</td> <td style="text-align: center;">5 - 11</td> <td style="text-align: center;">70 - 100</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">Fluida</td> <td style="text-align: center;">11 - 20</td> <td style="text-align: center;">100 - 130</td> </tr> </tbody> </table>	Consistencia	Asentamiento (cm)	Fluidez (Z)	Seca	0 - 2	0 - 40	Plástica	2 - 5	40 - 70	Blanda	5 - 11	70 - 100	Fluida	11 - 20	100 - 130																
Consistencia	Asentamiento (cm)	Fluidez (Z)																													
Seca	0 - 2	0 - 40																													
Plástica	2 - 5	40 - 70																													
Blanda	5 - 11	70 - 100																													
Fluida	11 - 20	100 - 130																													
<table border="1" style="width: 100%;"> <tr> <td style="text-align: center;">asen</td> <td style="text-align: center;">2.5 cm</td> <td style="text-align: center;">Plástica</td> </tr> </table>	asen	2.5 cm	Plástica																												
asen	2.5 cm	Plástica																													
4. Aire atrapado																															
<table border="1" style="width: 100%;"> <thead> <tr> <th style="text-align: center;">TMN. GRAVA</th> <th style="text-align: center;">AIRE ATRAPADO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: center;">3/8"</td> <td style="text-align: center;">3.0</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">1/2"</td> <td style="text-align: center;">2.5</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">3/4"</td> <td style="text-align: center;">2.0</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">1"</td> <td style="text-align: center;">1.5</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">1 1/2"</td> <td style="text-align: center;">1.0</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">2"</td> <td style="text-align: center;">0.5</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">3"</td> <td style="text-align: center;">0.3</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">6"</td> <td style="text-align: center;">0.2</td> </tr> </tbody> </table>	TMN. GRAVA	AIRE ATRAPADO	3/8"	3.0	1/2"	2.5	3/4"	2.0	1"	1.5	1 1/2"	1.0	2"	0.5	3"	0.3	6"	0.2	<table border="1" style="width: 100%;"> <tr> <td style="text-align: center;">aa</td> <td style="text-align: center;">1.5 %</td> </tr> </table>		aa	1.5 %									
TMN. GRAVA	AIRE ATRAPADO																														
3/8"	3.0																														
1/2"	2.5																														
3/4"	2.0																														
1"	1.5																														
1 1/2"	1.0																														
2"	0.5																														
3"	0.3																														
6"	0.2																														
aa	1.5 %																														
5. Selección del volumen unitario de agua																															
<table border="1" style="width: 100%;"> <thead> <tr> <th style="text-align: center;">TMN. AGREG</th> <th style="text-align: center;">AG. REDONDEADO</th> <th style="text-align: center;">AG. TRITURADO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: center;">mm(plg)</td> <td style="text-align: center;">kg</td> <td style="text-align: center;">kg</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">12.7(1/2")</td> <td style="text-align: center;">199</td> <td style="text-align: center;">214</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">19.1(3/4")</td> <td style="text-align: center;">184</td> <td style="text-align: center;">199</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">25.4(1")</td> <td style="text-align: center;">178</td> <td style="text-align: center;">193</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">38.1(1 1/2")</td> <td style="text-align: center;">166</td> <td style="text-align: center;">181</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">50.8(2")</td> <td style="text-align: center;">157</td> <td style="text-align: center;">172</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">76.2(3")</td> <td style="text-align: center;">148</td> <td style="text-align: center;">163</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">152.4(6")</td> <td style="text-align: center;">131</td> <td style="text-align: center;">145</td> </tr> </tbody> </table>	TMN. AGREG	AG. REDONDEADO	AG. TRITURADO	mm(plg)	kg	kg	12.7(1/2")	199	214	19.1(3/4")	184	199	25.4(1")	178	193	38.1(1 1/2")	166	181	50.8(2")	157	172	76.2(3")	148	163	152.4(6")	131	145	<table border="1" style="width: 100%;"> <tr> <td style="text-align: center;">va</td> <td style="text-align: center;">193.0 kg/m3</td> </tr> </table>		va	193.0 kg/m3
TMN. AGREG	AG. REDONDEADO	AG. TRITURADO																													
mm(plg)	kg	kg																													
12.7(1/2")	199	214																													
19.1(3/4")	184	199																													
25.4(1")	178	193																													
38.1(1 1/2")	166	181																													
50.8(2")	157	172																													
76.2(3")	148	163																													
152.4(6")	131	145																													
va	193.0 kg/m3																														
5.1. Correccion de volumen de unitario de agua																															

Cambio en las condiciones de la capacidad de medida	Modificación de la cantidad de agua
Por cada 25 mm de aumento o disminución en el asentamiento	±3%
Arenas trituradas	6.80%
Hormigones poco trabajables	-3.60%

cantidad de agua corregida	199.369 Lt
-----------------------------------	------------

6. Determinación de la relación a/c

$$\frac{a}{c} = \frac{1}{Z} \quad Z = (K_1 * R_m) + 0.5$$

K1 depende de la forma del agregado
 0.003 a 0.0045 piedra chancada o triturada
 0.0045 a 0.007 canto rodado o piedra redonda

K1	0.0049	G.triturada
Rm	434	kg/cm ²

Z	2.6266
----------	--------

a/c	0.38	l/kg
------------	------	------

7. Cálculo del peso del cemento

$$\text{Peso del Cemento} = \frac{\text{Volumen Unitario de Agua (litros)}}{\text{Relación a/c (litros/kg)}}$$

cemento	524	kg
----------------	-----	----

Cc_bolsas	10.47	bolsas
	11.00	bolsas

8. Determinación de volúmenes

Material	Peso seco	Peso específico	Volumen
	kg	kg/m ³	m ³
cemento	524	3150	0.166
agua	199	1000	0.199
aire(%)	1.5		0.015
		Σ	0.38

se debe considerar un 2.5% por la contracción del concreto fresca para obtener un metro cubico de concreto

%adicional	1.035	
vol.absol	0.381	
vol.global	0.654	m ³

9. Determinación del volumen del agregado fino y del agregado grueso

$$\text{Volumen Agregado Fino} = \left(\frac{\alpha}{100}\right) (\text{Volumen de Agregado Global})$$

$$\text{Volumen Agregado Grueso} = \left(\frac{\beta}{100}\right) (\text{Volumen de Agregado Global})$$

vol.fino	0.327	m ³
vol.grueso	0.327	m ³

10. Determinación de los pesos secos del agregado fino y grueso

$$\text{Peso Seco del Agregado Fino} = (\text{Volumen Agregado Fino})(\text{Peso Especifico Agregado Fino})$$

$$\text{Peso Seco del Agregado Grueso} = (\text{Volumen Agregado Grueso})(\text{Peso Especifico Agregado Grueso})$$

Peso. Espe arena	2310	kg/m3
Peso. Espe grava	2610	kg/m3

Peso.seco fino	780.82	kg
peso.seco grava	859.98	kg

11. Diseño

Material	Peso seco por m3	Volumen m3
cemento	524	0.166
agregado fino	781	0.327
agregado grueso	860	0.327
agua	199	0.199
aire	1.5	0.015

Total		1.035
--------------	--	--------------

12. Presentación final de diseño

Material	Peso seco por m3	Volumen m3
cemento	524	0.166
agregado fino	781	0.333
agregado grueso	860	0.333
agua	189	0.192
Aditivo	7.86	0.006

13. Cantidad de fibra y cemento en la dosificación final

%adicionfibras	%fibra*cantid.cemento	cemento kg	Cant. Fibra Kg
0.10%	0.524	523.48	47.684
0.30%	1.572	522.43	143.052
0.50%	2.620	521.38	238.420

AUTORIZACION DE PUBLICACION EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL


Nosotros, Jhandry Alexis Asanza Matamoros y Joseline Michelle Miñarcaja Sánchez portadores de las cédulas de ciudadanía N.º 0706783156 y 0106110281. En calidad de autores y titulares de los derechos patrimoniales del trabajo de titulación “Análisis de las propiedades mecánicas de un hormigón con fibras de vástago de plátano para uso de pavimentos rígidos en la ciudad de Cuenca” de conformidad a lo establecido en el artículo 114 Código Orgánico de la Economía Social de los Conocimientos, Creatividad e Innovación, reconocemos a favor de la Universidad Católica de Cuenca una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos, Así mismo; autorizamos a la Universidad para que realice la publicación de este trabajo de titulación en el Repositorio Institucional de conformidad a lo dispuesto en el artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Cuenca, 18 de marzo de 2024


F:

Jhandry Alexis Asanza Matamoros

C.I.: 0706783156


F:

Joseline Michelle Miñarcaja Sánchez

C.I.: 0106110281