UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA INGENIERÍA CIVIL

Título del Proyecto

"ESTUDIO DEL MÓDULO DE ROTURA EN MEZCLAS DE HORMIGÓN CON FIBRA DE ABACÁ PARA PAVIMENTO RÍGIDO CONSIDERANDO TRÁNSITO DE RIOBAMBA"

Trabajo de Titulación para optar al título de Ingeniero Civil

Autores:
Pilicita Parra, Cristian David
Puluche Haro, Vicente Fernando

Tutor:
Ing./ Mgs. Vladimir Hernán Pazmiño Chiluiza.

Riobamba, Ecuador - 2022

DERECHOS DE AUTORÍA

Nosotros, **Pilicita Parra Cristian David**, con cédula de ciudadanía **235070980-0** y **Puluche Haro Vicente Fernando** con cédula de ciudadanía **060581300-5**, autores del trabajo de investigación titulado: **"ESTUDIO DEL MÓDULO DE ROTURA EN MEZCLAS DE HORMIGÓN CON FIBRA DE ABACÁ PARA PAVIMENTO RÍGIDO CONSIDERANDO TRÁNSITO DE RIOBAMBA"**, certifico que la producción, ideas, opiniones, criterios, contenidos y conclusiones expuestas son de nuestra exclusiva responsabilidad.

Asimismo, cedo a la Universidad Nacional de Chimborazo, en forma no exclusiva, los derechos para su uso, comunicación pública, distribución, divulgación y/o reproducción total o parcial, por medio físico o digital; en esta cesión se entiende que el cesionario no podrá obtener beneficios económicos. La posible reclamación de terceros respecto de los derechos de autor de la obra referida será de nuestra entera responsabilidad; librando a la Universidad Nacional de Chimborazo de posibles obligaciones.

En Riobamba, 14 de julio de 2022.

Cristian David Pilicita Parra

C.I: 235070980-0

Vicente Fernando Puluche Haro

C.I: 060581300-5

DICTAMEN FAVORABLE DEL TUTOR Y MIEMBROS DE TRIBUNAL;

Quienes suscribimos, catedráticos designados Tutor y Miembros del Tribunal de Grado para la evaluación del trabajo de investigación **"ESTUDIO DEL MÓDULO DE ROTURA EN MEZCLAS DE HORMIGÓN CON FIBRA DE ABACÁ PARA PAVIMENTO RÍGIDO CONSIDERANDO TRÁNSITO DE RIOBAMBA"**, presentado por **Pilicita Parra Cristian David**, con cédula de identidad número **235070980-0 y Puluche Haro Vicente Fernando**, con cédula de identidad número **060581300-5**, certificamos que recomendamos la APROBACIÓN de este con fines de titulación. Previamente se ha asesorado durante el desarrollo, revisado y evaluado el trabajo de investigación escrito y escuchada la sustentación por parte de su autor; no teniendo más nada que observar.

De conformidad a la normativa aplicable firmamos, en Riobamba, 14 de julio de 2022.

Ing./Mgs. Andrea Natali Zárate Villacrés
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL DE GRADO

Firma

Ing./Mgs. Oscar Alfredo Cevallos Velásquez
MIEMBRO DEL TRIBUNAL DE GRADO

Firma

Ing./Mgs. Luis Enrique Villafuerte Bermúdez
MIEMBRO DEL TRIBUNAL DE GRADO

Firma

Ing./Mgs. Hernán Vladimir Pazmiño Chiluiza
TUTOR

Firma

CERTIFICADO DE LOS MIEMBROS DEL TRIBUNAL

Quienes suscribimos, catedráticos designados Miembros del Tribunal de Grado para la evaluación del trabajo de investigación **"ESTUDIO DEL MÓDULO DE ROTURA EN MEZCLAS DE HORMIGÓN CON FIBRA DE ABACÁ PARA PAVIMENTO RÍGIDO CONSIDERANDO TRÁNSITO DE RIOBAMBA"**, presentado por **Pilicita Parra Cristian David**, con cédula de identidad número **235070980-0 y Puluche Haro Vicente Fernando**, con cédula de identidad número **060581300-5**, bajo la tutoría de Ing/ Mgs. Hernán Vladimir Pazmiño Chiluiza; certificamos que recomendamos la APROBACIÓN de este con fines de titulación. Previamente se ha evaluado el trabajo de investigación y escuchada la sustentación por parte de su autor; no teniendo más nada que observar.

De conformidad a la normativa aplicable firmamos, en Riobamba, 14 de julio de 2022.

Presidente del Tribunal de Grado
Ing./Mgs. Andrea Natali Zárate Villacrés

Firma

Miembro del Tribunal de Grado
Ing./Mgs. Oscar Alfredo Cevallos Velásquez

Firma

Miembro del Tribunal de Grado
Ing./Mgs. Luis Enrique Villafuerte Bermúdez

Firma

CERTIFICACIÓN

Que, **PILICITA PARRA CRISTIAN DAVID** con CC: **235070980-0,** y **PULUCHE HARO VICENTE FERNANDO** con CC: **060581300-5**, estudiantes de la Carrera de **Ingeniería Civil, NO VIGENTE,** Facultad de **Ingeniería**; ha trabajado bajo mi tutoría el trabajo de investigación titulado "**ESTUDIO DEL MÓDULO DE ROTURA EN MEZCLAS DE HORMIGÓN CON FIBRA DE ABACÁ PARA PAVIMENTO RÍGIDO CONSIDERANDO TRÁNSITO DE RIOBAMBA**", cumple con el **7%**, de acuerdo al reporte del sistema Anti-plagio **Urkund**, porcentaje aceptado de acuerdo a la reglamentación institucional, por consiguiente autorizo continuar con el proceso.

Riobamba, 05 de julio de 2022

Ing./Mgs. Hernán Vladimir Pazmiño Chiluiza
TUTOR PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

AGRADECIMIENTO

A la prestigiosa Universidad Nacional de Chimborazo, Facultad de Ingeniería, carrera de Ingeniería Civil, por abrirnos sus puertas y darnos una oportunidad de formarnos como profesionales.

A la Ing. Cristina Polo por la ayuda brindada durante todo el proceso experimental de nuestro proyecto de investigación.

Un agradecimiento especial a nuestro tutor, el Ing. Vladimir Pazmiño por darnos la oportunidad de llevar a cabo este proyecto con el cual reforzamos nuestros conocimientos y aprendimos nuevas técnicas del hormigón reforzado con fibras.

De manera especial, al Ing. Óscar Cevallos quien nos guio y ayudo con sus conocimientos durante el proceso de ensayos de nuestra investigación.

A nuestros amigos y familiares que confiaron en nosotros y nos brindaron su apoyo incondicional durante toda nuestra formación como profesionales.

DEDICATORIA

A mi madre, Carmen Parra quien estuvo conmigo siempre brindándome su apoyo y cariño durante las etapas más importantes de mi vida y puso toda su confianza en mí para que pueda formarme profesionalmente.

A mi padre, Fausto Pilicita quien tuvo que esforzarse mucho con tal de darme el apoyo económico suficiente para que pueda culminar con mis estudios.

A mi novia Belén, quien ha estado a mi lado durante mi etapa de estudio brindándome su apoyo y motivándome siempre a seguir adelante para poder cumplir con esta meta.

A mi tío miguel por sus consejos y su apoyo en la etapa final de mi proyecto de grado.

A mis amigos Reny y Fernando por brindarme su apoyo y amistad incondicional durante toda mi etapa de estudios.

Cristian David Pilicita Parra

De manera especial a mi madrecita Berta por estar siempre a mi lado en los momentos difíciles, por sus consejos, amor, cariño, paciencia, por cuidarme y ser la razón de haberme esforzado tanto para poder brindarle un futuro mejor y la tranquilidad que se merece.

A mi padre Alfonso, por nunca hacerme faltar nada, por brindarme su confianza y una carrera para mi futuro.

A mi novia Jessica, por siempre darme ánimos en los momentos malos y su apoyo incondicional a pesar de la distancia.

A mi hermana Ruth, por darme el ejemplo y solventar mis dudas, a mi primo Erick por ser como un hermano y ayudarme cuando lo he necesitado.

A mi amigo Cristian, por brindarme una amistad sincera y apoyo a lo largo de la carrera.

Vicente Fernando Puluche Haro

ÍNDICE GENERAL

1. INTRODUCCION. 22
1.1. Objetivos 23
1.1.1. Objetivo General 23
1.1.2. Objetivos específicos. 23
2. MARCO TEÓRICO. 25
2.1. Estado del arte 25
2.1.1. Internacionales 25
2.1.2. Nacionales 25
2.2. PAVIMENTO RÍGIDO 26
2.2.1. Definición 26
2.2.2. Tipos de pavimentos rígidos 26
2.2.2.1. Pavimentos de concreto 26
2.2.2.2. Pavimentos de concreto hidráulico con refuerzo de acero 27
2.2.2.3. Pavimentos de concreto hidráulico con refuerzo continuo 27
2.2.2.4. Pavimentos de concreto hidráulico reforzado con fibras 27
2.2.3. Estructura del pavimento rígido 27
2.2.3.1. Losa 27
2.2.3.2. Base y Subbase 27
2.2.3.3. Subrasante 27
2.2.4. Materiales que Componen un pavimento rígido 28
2.2.4.1. Concreto hidráulico. 28
2.2.4.2. Componentes del concreto hidráulico 28
2.2.4.2.1. Material resistente 28
2.2.4.2.2. Material Ligante 29
2.2.4.2.3. Agua 29
2.2.4.2.4. Aditivos 29
2.2.4.2.4.1. Tipos de aditivos. 29
2.2.5. Formación de fisuras debido a la flexión en pavimentos rígidos 30
2.2.6. Factores que influyen en la Performance de los Pavimentos 32
2.2.6.1. Tráfico 32
2.2.6.2. Clima 33
2.2.6.3. Geometría del proyecto 33
2.2.6.4. Construcción y mantenimiento 33

2.3. Diseño de pavimentos rígidos. 33
2.3.1. Espesor de Losa Para Pavimento Rígido 33
2.3.2. Período De Diseño y vida útil. 37
2.3.3. Ejes estándar equivalentes de carga (ESALs) 37
2.3.4. Factores equivalentes de carga (LEF) 37
2.3.5. Factor camión 37
2.4. Diseño de la mezcla de hormigón 38
2.4.1. Método de la densidad óptima 38
2.5. CLASIFICACIÓN DE FIBRAS 38
2.5.1. SEGÚN SU TAMAÑO 38
2.5.1.1. Macro-fibras 38
2.5.1.2. Micro-fibras 39
2.5.2. SEGÚN SU ORIGEN 39
2.5.2.1. Fibras Naturales 39
2.5.2.2. Fibras Químicas 40
2.6. DURABILIDAD DE LAS FIBRAS NATURALES EN UNA MATRIZ CEMENTICIA .. 41
2.7. ABACÁ EN EL ECUADOR 41
2.7.1. Definición planta de abacá: 41
2.7.2. Definición fibras de abacá: 42
2.7.3. Importancia: 42
2.7.4. Usos: 42
2.7.5. Requerimiento de clima y suelo: 42
2.7.6. Calidad de las fibras de Abacá: 42
2.7.7. Zonas productoras en el Ecuador: 42
2.7.8. Industrias Productoras de abacá en Ecuador 43
2.7.9. Precio de la fibra de abacá. 43
2.7.10. Proceso de producción fibra de Abacá. 44
2.7.11. Propiedades fibra de abacá 44
2.7.11.1. Propiedades mecánicas y físicas: 44
2.7.11.2. Propiedades químicas: 44
3. METODOLOGIA. 45
3.1. Tipo, método, nivel y diseño de la Investigación. 45
3.1.1. Tipo de investigación 45
3.1.2. Método de la investigación 45
3.1.3. Nivel de investigación 45
3.1.4. Diseño de investigación 45

3.2. Población y muestra 46
3.2.1. Población 46
3.2.2. Muestra 46
3.3. Operacionalización de variables 46
3.4. Procedimientos 47
3.4.1. Ensayos para caracterizar las propiedades físicas de la fibra de abacá 47
3.4.2. Ensayos para caracterizar las propiedades físicas de los agregados finos y gruesos. 48
3.4.3. Ensayos para caracterizar las propiedades físicas del cemento 48
3.5. Procesamiento y análisis. 48
3.5.1. Materiales 48
3.5.2. Caracterización de la fibra de abacá 54
3.5.2.1. Densidad específica 54
3.5.2.2. Densidad lineal 56
3.5.2.3. Porcentaje de absorción 57
3.5.3. Caracterización de los agregados finos y gruesos 58
3.5.3.1. Granulometría 58
3.5.3.2. Peso unitario suelto 61
3.5.3.3. Peso unitario compactado 63
3.5.3.4. Contenido de humedad. 65
3.5.3.5. Masa unitaria compactada de la mezcla 66
3.5.3.6. Densidad real y capacidad de absorción 68
3.5.3.6. Abrasión 72
3.5.3.7. Impurezas orgánicas – Colorimetría 74
3.5.3.8. Contenido de terrones de arcilla y partículas deleznables 75
3.5.3.9. Determinación de la cantidad de material que pasa el tamiz de 75 µm (No. 200) en los agregados pétreos mediante lavado. 78
3.5.4. Caracterización del cemento 79
3.5.4.1. Densidad real del cemento 79
3.5.5. Cálculo del módulo de rotura con carga aplicada en los tercios 80
3.5.6. Cálculo de la resistencia a la compresión de cilindros de hormigón 81
3.5.7. Cálculo de la resistencia a la tracción por compresión diametral 82
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN 84
4.1. Resultados 84
4.1.1. Caracterización de la fibra de abacá 84
4.1.1.1. Densidad Específica 85
4.1.1.2. Densidad lineal 86

4.1.1.3. Porcentaje de absorción 87
4.1.2. Caracterización de los agregados finos y gruesos 88
4.1.2.1. Granulometría 88
4.1.2.2. Peso unitario suelto 92
4.1.2.3. Peso unitario compactado 94
4.1.2.4. Contenido de humedad 96
4.1.2.5. Masa unitaria compactada de la mezcla 98
4.1.2.6. Densidad real y capacidad absorción. 100
4.1.2.7. Abrasión 102
4.1.2.8. Impurezas orgánicas - Colorimetría 103
4.1.2.9. Contenido de terrones de arcilla y partículas deleznables 104
4.1.2.10. Determinación de la cantidad de material que pasa el tamiz de 75 µm (No. 200) en los agregados pétreos mediante lavado 106
4.1.3. Caracterización del cemento 107
4.1.3.1. Densidad real del cemento Chimborazo 107
4.1.4. Conteo Vehicular y TPDA 108
4.1.5. Número de ejes equivalente (W18) 110
4.1.6. Valoración del "Módulo de rotura" (MR) 114
4.1.7. Diseño del espesor de la losa para pavimento rígido 114
4.1.7.3. Correlación del módulo de rotura con la resistencia a la compresión 117
4.1.8. Dosificación de la mezcla de hormigón por el método de la densidad óptima 117
4.1.9. Dosificación de la fibra de abacá. 121
4.1.10. Resultados de la resistencia a la compresión de las mezclas de hormigón 122
4.1.11. Resultados de la resistencia a la tracción por compresión diametral de las mezclas de hormigón 123
4.1.12. Resultados del módulo de rotura (MR) de las mezclas de hormigón 124
4.1.13. Reajuste de la dosificación de mezclas de hormigón por el método de la densidad óptima 130
4.1.14. Resultados de la resistencia a la compresión de mezclas de hormigón con base en la dosificación reajustada-f'c=320 kg/cm^2 134
4.1.15. Resultados del módulo de rotura (MR) de las mezclas de hormigón en base a la dosificación reajustada 135
4.1.16. Diseño del espesor de pavimento rígido con adición de fibra de abacá. 138
4.1.17. Análisis económico de un concreto con adición de fibra de abacá 139
4.2. Discusión 142
4.2.1. Caracterización de las propiedades físicas de la fibra de abacá 142
4.2.2. Número de ejes equivalentes 142

4.2.3. Espesor de la losa 142
4.2.4. Resistencia a la compresión 143
4.2.5. Resistencia a la tracción indirecta 144
4.2.6. Resistencia a la flexión (Módulo de rotura). 145
4.2.6.1. Módulo de rotura primera dosificación. 145
4.2.7. Diseño de espesor de pavimento con adición de fibra de abacá 159
4.2.8. Análisis económico del hormigón con y sin adición de fibra 159
5. CONCLUSIONES y RECOMENDACIONES 161
5.1. Conclusiones 161
5.2. Recomendaciones 163
6. BIBLIOGRÁFIA 164
7. ANEXOS 168

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Categorías de tránsito para la selección de espesores 34
Tabla 2 Clasificación de la subrasante en función de su resistencia 34
Tabla 3 Clasificación de los materiales de soporte para el pavimento de concreto 35
Tabla 4 Denominación del sistema de transferencia de cargas y confinamiento lateral 35
Tabla 5 Valores del módulo de rotura del concreto 35
Tabla 6 Variables consideradas en los análisis de diseño del pavimento..... 36
Tabla 7 Periodo de diseño 37
Tabla 8 Tipos de fibras..... 39
Tabla 9 Precio de la fibra de abacá de productores del sector..... 43
Tabla 10 Muestra de la investigación..... 46
Tabla 11 Operacionalización de la variable independiente..... 46
Tabla 12 Operacionalización de la variable dependiente 47
Tabla 13 Tamaño de la muestra para ensayo del árido grueso..... 59
Tabla 14 Tamaño de la muestra del árido 65
Tabla 15 Granulometría de las muestras de ensayo 72
Tabla 16 Masa mínima para la muestra de ensayo..... 78
Tabla 17 Resultados de la densidad especifica de la fibra de abacá..... 85
Tabla 18 Ensayo de densidad lineal de la fibra de abacá 86
Tabla 19 Resultado del porcentaje de absorción de agua de la fibra de abacá..... 87
Tabla 20 Granulometría del agregado fino..... 88
Tabla 21 Granulometría del agregado grueso 90
Tabla 22 Peso unitario suelto del agregado fino 92
Tabla 23 Peso unitario suelto del agregado grueso 93
Tabla 24 Peso unitario compactado del agregado fino..... 94
Tabla 25 Peso unitario compactado del agregado grueso..... 95
Tabla 26 Contenido de humedad del agregado fino..... 96
Tabla 27 Contenido de humedad del agregado grueso..... 97
Tabla 28 Masa unitaria compactada de la muestra..... 98
Tabla 29 Densidad real y capacidad de absorción del agregado grueso 100
Tabla 30 Densidad real y capacidad de absorción del agregad fino..... 101
Tabla 31 Resultado del ensayo a la abrasión del agregado grueso..... 102
Tabla 32 Resultado del ensayo de colorimetría del agregado fino..... 103
Tabla 33 Resultado del contenido de terrones de arcilla y partículas deleznables del agregado fino 104
Tabla 34 Resultado del contenido de terrones de arcilla y partículas deleznables del agregado grueso 105
Tabla 35 Resultados del material que pasa el tamiz No. 200 mediante lavado..... 106
Tabla 36 Peso específico del cemento Chimborazo Tipo “GU” 107
Tabla 37 Conteo vehicular 7 días..... 109
Tabla 38 Variables por considerar para el cálculo del tráfico vehicular futuro..... 110
Tabla 39 Tasa de crecimiento del tráfico vehicular..... 110
Tabla 40 Tráfico vehicular proyectado al año 2041- periodo de diseño 20 años..... 111
Tabla 41 Porcentaje de vehículos pesados en el aforo vehicular actual..... 111
Tabla 42 Cálculo del Factor de carga equivalente (FCE)..... 112
Tabla 43 Valores del porcentaje de trafico de carril de diseño 112
Tabla 44 Número de ejes equivalentes de vehículos tipo Bus 112

Tabla 45 Numero de ejes equivalentes de vehículos tipo chasis rígido y articulado 113
Tabla 46 Módulo de rotura que debe tener el concreto 114
Tabla 47 Número de camiones al día 114
Tabla 48 Cálculo de espesor por el método AASHTO-93 115
Tabla 49 Espesor de la losa: Método INVIAS 116
Tabla 50 Cálculo del módulo de rotura en función de la resistencia a la compresión. 117
Tabla 51 Datos generales del cemento y agregados a utilizar en la dosificación por densidad óptima 117
Tabla 52 Resistencia a la compresión a los 28 días en kg/cm^2 117
Tabla 53 Fórmula cantidad de pasta (%) 118
Tabla 54 Dosificación al peso sin corregir con humedad de agregados 120
Tabla 55 Dosificación al peso corregida con la humedad que presentan los agregados 121
Tabla 56 Dosificación fibra para viga y cilindro 121
Tabla 57 Dosificación fibra para 1 m3 122
Tabla 58 Resistencia a la compresión del hormigón curado a los 28 días 122
Tabla 59 Resistencia a la tracción por compresión diametral 28 días 123
Tabla 60 Módulo de rotura 7 días - Concreto simple con 0% de fibra 124
Tabla 61 Módulo de rotura 28 días - Concreto simple con 0% de fibra 125
Tabla 62 Módulo de rotura 7 días - Concreto simple con 0.25% de fibra abacá 125
Tabla 63 Módulo de rotura 28 días - Concreto simple con 0.25% de fibra dispersa 126
Tabla 64 Módulo de rotura 7 días - Concreto simple con 0.25% de fibra longitudinal 127
Tabla 65 Módulo de rotura 28 días - Concreto simple con 0.25% de fibra longitudinal 127
Tabla 66 Módulo de rotura 7 días - Concreto simple con 0.50% de fibra dispersa 128
Tabla 67 Módulo de rotura 28 días - Concreto simple con 0.50% de fibra dispersa 128
Tabla 68 Módulo de rotura 7 días - Concreto simple con 0.50% de fibra longitudinal 129
Tabla 69 Módulo de rotura 28 días - Concreto simple con 0.50% de fibra longitudinal 130
Tabla 70 Dosificación al peso sin corregir con humedad de agregados 132
Tabla 71 Dosificación al peso corregida con la humedad que presentan los agregados 133
Tabla 72 Dosificación reajustada: agua y acelerante 134
Tabla 73 Dosificación reajustada fibra para viga y cilindro 134
Tabla 74 Dosificación reajustada fibra para 1 m3 134
Tabla 75 Resistencia a la compresión de cilindros de hormigón a los 28 días 135
Tabla 76 Módulo de rota con dosificación reajustada as - Concreto simple (Muestra de control) 135
Tabla 77- Concreto simple (Muestra de control) 135
Tabla 78 Módulo de rotura con dosificación reajustada 28 días - Concreto simple (Muestra de control) 136
Tabla 79 Módulo de rotura con dosificación reajustada 28 días - Concreto simple con adición de 0.50% de fibra ubicada longitudinalmente 137
Tabla 80 Cálculo de espesor por el método AASHTO-93 para pavimento rígido con adición de fibra 138
Tabla 81 Cálculo de espesor por el método AASHTO-93 para pavimento rígido con adición de fibra y acelerante Sika-3 139
Tabla 82 Precio de los agregados y materiales que conforman la mezcla de hormigón 139
Tabla 83 Precio para 1m^3 de hormigón sin fibra con dosificación f'c=210kg/cm^2 139
Tabla 84 Precio para 1m^3 de hormigón con fibra al 0.5% con dosificación f'c=210 kg/cm^2-Proveedor-Productores del sector 140
Tabla 85 Precio para 1m^3 de hormigón sin fibra con dosificación f'c=320 kg/cm^2 140

Tabla 86 Precio para 1m^3 de hormigón con fibra al 0.5% con dosificación f'c=320 kg/cm^2-Proveedor-Productores del sector..... 140
Tabla 87 Precio para 1m^3 de hormigón sin fibra con dosificación f'c=320 kg/cm^2 sin acelerante 141
Tabla 88 Precio para 1m^3 de hormigón con fibra al 0.5% con dosificación f'c=320 kg/cm^2 sin acelerante-Proveedor-Productores del sector 141
Tabla 89 Porcentaje de resistencias a la compresión en base al porcentaje de fibra 143
Tabla 90 Resistencia a la tracción por compresión diametral 28 días..... 145
Tabla 91 Resumen ensayos del módulo de rotura a los 7 días 145
Tabla 92 Resumen ensayos del módulo de rotura a los 28 días 146
Tabla 93 Resumen ensayos del módulo de rotura con dosificación modificada. 149
Tabla 94 Resistencia del módulo de rotura en función del tiempo 150
Tabla 95 Resistencia del módulo de rotura en función del tiempo (Dosificación modificada) 151
Tabla 96 Espesor de pavimento con adición de fibra de abacá. 159
Tabla 97 Resumen de precios de un hormigón simple vs un hormigón fibro-reforzado 159
Tabla 98 Resumen de precios de un hormigón simple + acelerante vs un hormigón fibro-reforzado + acelerante 160

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Tipos de pavimentos rígidos 26
Figura 2 Estructura del Pavimento Rígido 28
Figura 3 Material resistente (Agregado Fino y Grueso) 28
Figura 4 Distribución de esfuerzos debido a cargar vehiculares sobre el pavimento 30
Figura 5 Modelo estructural de viga simplemente apoyada para pavimento rígido 31
Figura 6 Distribución de esfuerzos en la sección de la losa de hormigón dentro del rango elástico 31
Figura 7 Formación y propagación de fisuras debido a esfuerzo de flexión 32
Figura 8 Fibras Naturales 39
Figura 9 Fibras químicas 40
Figura 10 Provincias productoras de abacá en el Ecuador 43
Figura 11 Proceso de fabricación de fibras de Abacá 44
Figura 12 Presentación de la fibra de abacá 48
Figura 13 Corte de la fibra a 3 cm de longitud 49
Figura 14 Agregado grueso de la mina de Cerro Negro 50
Figura 15 Agregado fino de Hormigones Moreno – Mina "La Guadalupe" 50
Figura 16 Sika-3 (Dosificación 1:4) 51
Figura 17 Presentación de la parafina solida Semirrefinada 52
Figura 18 Inmersión de la fibra de abacá en la parafina 52
Figura 19 Eliminación de grumos de cera 53
Figura 20 Proceso de saturado de la fibra por 24 horas 54
Figura 21 Secado superficial de la fibra de abacá tratada con parafina 54
Figura 22 Ensayo de densidad especifica de la fibra de abacá 55
Figura 23 Ensayo de densidad línea de la fibra de abacá 56
Figura 24 Ensayo de porcentaje de absorción de la fibra de abacá 57
Figura 25 Ensayo de granulometría del agregado fino 58
Figura 26 Ensayo de granulometría del agregado grueso 60
Figura 27 Ensayo de peso unitario suelto de agregado fino 61
Figura 28 Ensayo de peso unitario suelto de agregado grueso 62
Figura 29 Ensayo de peso unitario compactado de agregado fino 63
Figura 30 Peso unitario compactado del agregado grueso 65
Figura 31 Ensayo del contenido de humedad del agregado fino y grueso 66
Figura 32 Ensayo de masa unitaria compactada de la mezcla 67
Figura 33 Ensayo de densidad real y capacidad de absorción del agregado grueso 69
Figura 34 Ensayo de densidad real y capacidad de absorción del agregado fino 71
Figura 35 Ensayo de abrasión en la máquina de los ángeles 73
Figura 36 Ensayo de colorimetría del agregado fino 74
Figura 37 Ensayo de contenido de terrones de arcilla y partículas deleznables en el agregado fino 75
Figura 38 Ensayo de contenido de terrones de arcilla y partículas deleznables del agregado grueso 77
Figura 39 Ensayo del Material más fino que pasa el tamiz No. 200 mediante lavado 79
Figura 40 Ensayo de la densidad del cemento Chimborazo tipo GU 80
Figura 41 Colocación de la viga sobre los apoyos en la maquina universal 81
Figura 42 Medición de cilindros y ensayo para obtener la carga máxima aplicada 82
Figura 43 Ensayo a tracción por compresión diametral 83

Figura 44 Curva granulométrica del agregado fino. 89
Figura 45 Curva granulométrica del agregado grueso 91
Figura 46 Porcentajes máximo y óptimo de la mezcla..... 99
Figura 47 Cámaras para conteo vehicular Sector "Media Luna"..... 108
Figura 48 Resultados de la resistencia a la compresión del hormigón con y sin adición de fibra de abacá..... 122
Figura 49 Resultados ensayo tracción por compresión diametral..... 123
Figura 50 Módulo de Rotura (MR) 7 y 28 días en comparación con MR de diseño (0% de fibra) 125
Figura 51 Módulo de Rotura (MR) 7 y 28 días en comparación con MR de diseño (0.25% de fibra dispersa) 126
Figura 52 Módulo de Rotura (MR) 7 y 28 días en comparación con MR de diseño (0.25% de fibra longitudinal)..... 127
Figura 53 Módulo de Rotura (MR) 7 y 28 días en comparación con MR de diseño (0.50% de fibra dispersa) 129
Figura 54 Módulo de Rotura (MR) 7 y 28 días en comparación con MR de diseño (0.50% de fibra longitudinal)..... 130
Figura 55 Módulo de Rotura (MR) 7, 14 y 28 días concreto simple sin adición de fibra en comparación con MR de diseño..... 136
Figura 56 Módulo de Rotura (MR) 28 días concreto simple con adición del 0.50% de fibra en comparación con MR de diseño..... 137
Figura 57 Resistencia a la compresión-28 días..... 143
Figura 58 Resistencia a la compresión a los 28 días en base a la dosificación reajustada..... 143
Figura 59 Resultados ensayo tracción por compresión diametral..... 144
Figura 60 Resultado del módulo de rotura de vigas a diferentes porcentajes (7 días)..... 146
Figura 61 Resultado del módulo de rotura de vigas a diferentes porcentajes 147
Figura 62 Resultados del módulo de rotura a los 7 y 28 días..... 150
Figura 63 Resultados del módulo de rotura a los 7, 14 y 28 días con acelerante Sika-3 152
Figura 64 Curva Esfuerzo-Deformación de la viga sin adición de fibra..... 152
Figura 65 Curva Esfuerzo-Deformación de la viga con adición de fibra al 0.50%-Dispersa 153
Figura 66 Curva Esfuerzo-Deformación de la viga con adición de fibra al 0.50%-Longitudinal. 154
Figura 67 Comparativa de curvas Esfuerzo-Deformación..... 154
Figura 68 Curva Esfuerzo-Deformación de las vigas con el reajuste de dosificación..... 155
Figura 69 Curva Esfuerzo-Deformación de las vigas con fibra longitudinal al 0.5% en base al reajuste de la dosificación 155
Figura 70 Comparativa de curva Esfuerzo-Deformación entre viga con y sin fibra longitudinal 156
Figura 71 Comparativa de comportamientos Esfuerzo-Deformación entre dosificación antigua vs dosificación reajustada..... 157
Figura 72 Comparativa entre curva Esfuerzo-Deformación de vigas con fibra longitudinal de dosificación antigua vs dosificación reajustada 158

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1 Colocación de fibra longitudinal en la base de la viga 168
Anexo 2 Ensayo de viga con fibra longitudinal al 0.5% en la maquina universal Shimadzu 168
Anexo 3 Ensayo de viga con fibra longitudinal al 0.5% sin acelerante en la matriz en la maquina universal Shimadzu 169

NOMENCLATURA

DRC: Densidad real del cemento:
DRA: Densidad real de la arena:
DRR: Densidad real del ripio:
POA: Porcentaje óptimo de arena:
POR: Porcentaje óptimo de ripio:
DOM: Masa unitaria óptima de la mezcla:
CAA: Capacidad de absorción de la arena:
CAR: Capacidad de absorción del ripio:
CHA: Contenido de humedad arena:
CHR: Contenido de humedad del ripio:
DRM: Densidad real de la mezcla:
%OV: Porcentaje óptimo de vacíos:
CP: Cantidad de pasta:
C: Cantidad de cemento:
W: Cantidad de agua:
A: Cantidad de Arena:
R: Cantidad de Ripio:
MR: Módulo de rotura
Vt: Vía terciaria
Vs: Vía Secundaria
Vp: Vía Principal
E: Estrechas
M: Medias
A: Anchas
CC: Carreteras de 2 direcciones
MC: Carreteras multicarriles
AP: Autopistas

RESUMEN

El propósito de la presente investigación es dar a conocer la influencia que tiene la fibra de abacá en el "Módulo de Rotura" (MR), en mezclas de hormigón hidráulico para pavimentos rígidos, considerando el tránsito de la Av. Pedro Vicente y Av. Monseñor Leónidas Proaño, en el sector denominado "Media Luna" de la ciudad de Riobamba.

Se realizó ensayos de caracterización de los siguientes materiales: Cemento Chimborazo tipo GU, arena de río de la hormigonera "Hormigones Moreno" extraída de la mina de Chambo denominada "La Guadalupe" y piedra triturada de la mina "Cerro Negro" de Riobamba, teniendo resultados positivos y cumpliendo con los requerimientos para su uso en un pavimento rígido como lo establece la NEVI-12 (granulometría, colorimetría, porcentaje de abrasión, contenido de terrones de arcilla y partículas deleznables). A su vez, se determinó las propiedades físicas de la fibra de abacá adquiridas en la ciudad de Santo Domingo de los Tsáchilas.

La dosificación fue desarrollada por el método de la densidad óptima, con la cual se desarrolló 6 vigas para cada una de las siguientes muestras: Hormigón Simple (H.S.) o muestra de control, H.S. con adición del 0.25% y 0.50% de fibras dispersas y H.S. con adición del 0.25% y 0.50% de fibras ubicadas longitudinalmente, dando un total de 30 vigas.

En los resultados de estos ensayos se notó un incremento del MR con la adición de fibras de abacá ubicada tanto dispersa como longitudinalmente con respecto a la muestra de control, pero la que más se destaca es la fibra longitudinal al 0.50%, ya que refleja mayor ductilidad y un incremento en el MR de 19.26%, con base en estos resultados se realizó una segunda etapa de ensayos en la que comprende únicamente la muestra de control y muestra H.S. con adición del 0.50% de fibra ubicada longitudinalmente adicionando aditivo acelerante Sika 3, encontrando que con el uso del acelerante a los 7 días se obtuvo el 80% de la resistencia final del MR, tal como lo establece la NEVI-12 para vías de gran importancia, y provocando un incremento del 2.19% del MR a los 28 días, debido a que los componentes químicos del acelerante deterioraron la fibra y provocaron una disminución de sus propiedades mecánicas.

Palabras claves: Pavimento rígido, Fibra de abacá, Módulo de rotura, tránsito.

ABSTRACT

The purpose of this research is to publicize the influence that abaca fiber has on the "Module of Rupture" (MR) in hydraulic concrete mixtures for rigid pavements considering the traffic of Av. Pedro Vicente and Av. Monseñor Leónidas Proaño, in the sector called “Media Luna” of the city of Riobamba.

Characterization tests were carried out on the following materials: Chimborazo type GU cement, river sand from the “Hormigones Moreno” concrete mixer extracted from the Chambo mine called “La Guadalupe” and crushed stone from the “Cerro Negro” mine in Riobamba, having positive results and complying with the requirements for its use in a rigid pavement as established by NEVI-12 (granulometry, colorimetry, percentage of abrasion, content of clay lumps and brittle particles). In turn, the physical properties of the abaca fiber acquired in the city of Santo Domingo de los Tsáchilas were determined.

The dosage was developed by the optimal density method, with which six beams were developed for each of the following samples: Simple Concrete (HS) or control sample, HS with the addition of 0.25% and 0.50% of dispersed fibers, and HS with the addition of 0.25% and 0.50% fibers located longitudinally, giving a total of 30 beams.

In the results of these tests, an increase in MR was noted with the addition of abaca fibers located both dispersed and longitudinally concerning the control sample. Still, the one that stands out the most is the longitudinal fiber at 0.50%, since it reflects more excellent elasticity and an increase in the MR of 19.26%. Based on these results, a second stage of tests was carried out in which it comprised only the control sample and HS sample with the addition of 0.50% of fiber located longitudinally. Adding Sika 3 accelerating additive, finding that with the use of the accelerator at 7 days, 80% of the final resistance of the MR was obtained, as established by the NEVI-12 for roads of great importance, causing an increase of 2.19% of the MR at 28 days. The chemical components of the accelerator deteriorated the fiber and caused a decrease in its mechanical properties.

Keywords: Rigid pavement, Abaca fiber, Modulus of rupture, traffic.

Pirmado electrónicamente por:
MARCELA PATRICIA
GONZALEZ ROBALINO

Reviewed by:
Mgs. Marcela González Robalino
English Professor
c.c. 0603017708

CAPÍTULO I.

1. INTRODUCCION.

La tecnología del hormigón reforzado con fibra es cada vez más popular en el sector de la construcción internacional y nacional. Se utiliza en hormigón proyectado para túneles y taludes, y hormigón prefabricado para suelos industriales (Vargas & Yataco, 2020).

Sin embargo, según Vidaud et al., (2015), esta no es una tecnología nueva en el mundo de la construcción, desde la antigüedad se usan fibras naturales como: hilo, paja e incluso pelo de animales, como el caballo, que se agregan al mortero y al adobe para controlar el agrietamiento y aumentar la resistencia a la tracción. Más tarde, alrededor de 1900, se agregaron fibras de asbesto a la matriz cementicia, aunque muchos años después se descubrió que era perjudicial para la salud humana.

Actualmente, muchos estudios alrededor del mundo avalan el refuerzo de fibras en el concreto, mejorando sus propiedades de flexión, ductilidad y tenacidad; y también controlando la formación de grietas.

Según Vega (2019) un pavimento rígido "está formado por una losa de concreto hidráulico apoyado directamente sobre el suelo natural o una capa de materiales seleccionados y compactados, que se conoce con el nombre de sub-base", y al ser sometido a un tráfico vehicular repetitivo, se genera la formación de grietas y fisuras debido a que el concreto presenta baja resistencia a la tracción, este problema se lo podría solucionar colocando mallas de acero corrugado en la parte inferior de la losa, pero se tornaría una solución muy costosa debido al precio actual del acero y a los largos trayectos viales en los que deberían colocar, es por ello que en los últimos años se ha venido estudiando más a fondo este fenómeno, dando como origen a la incorporación de fibras tanto de acero, sintéticas o naturales para mejorar su resistencia a la flexión, obteniendo así un pavimento rígido que cumpla con el nivel de servicio durante su periodo de diseño (Vargas & Yataco, 2020).

Existen investigaciones en las cuales se ha incrementado la resistencia del módulo de rotura con la adición de fibras de cabuya, acero y fibras sintéticas, por el momento en ninguna se ha tomado en cuenta a la fibra de abacá, que crece principalmente en Ecuador, Costa Rica y Filipinas, y se procesa por su valor comercial. Es una fibra vegetal conformada por células delgadas y largas que presentan una alta resistencia. La mayor parte del abacá se usa para la fabricación de cuerdas, vestimentas, materiales filtrantes y bolsas té (TerranovaPapers, 2022).

El tránsito periférico en la ciudad de Riobamba ha venido en aumento en los últimos años, el estudio "Análisis del crecimiento urbano no planificado y su incidencia en los problemas de vialidad y tránsito de la ciudad de Riobamba", muestra como el aumento de la población y de la demanda vehicular en la ciudad, y se ve reflejado en el rápido deterioro de

las vías principales de la ciudad y que conlleva a altos costos de mantenimiento en periodos muy cortos (Mora, 2017).

La justificación de este trabajo se centra en el uso de la fibra de abacá para pavimentos rígido, según Benavides (2017) "El esfuerzo a la tracción de las fibras de abacá se encuentra entre 775 y 1261 MPa", mismos que superan al esfuerzo a la tracción del bambú angustifolia que es de 200 a 300 MPa y al del acero que es de 340 MPa, lo que indica claramente que el esfuerzo de tracción del abacá es mayor a la del acero, por lo que sería factible conocer cómo afecta la inclusión de fibras de abacá como refuerzo para una losa de pavimento rígido, ya que si se evidencia un aumento en el MR y la ductilidad se estaría controlando la formación de grietas y fisuras en el pavimento rígido.

Por lo que se plantea la utilización de esta fibra en las losas para pavimentos rígidos determinado el módulo de rotura para un hormigón simple y uno con adición de fibras de abacá en diferentes porcentajes mediante ensayo de laboratorio estableciendo una muestra óptima, considerando la demanda vehicular de la ciudad de Riobamba.

1.1.Objetivos

1.1.1. Objetivo General

- Diseñar una mezcla de fibras de abacá con hormigón para losas de rodadura de pavimentos rígidos utilizando agregados disponibles en la zona centro de la ciudad de Riobamba.

1.1.2. Objetivos específicos

- Establecer las propiedades físicas de la fibra de abacá en laboratorio
- Valorar el módulo de rotura considerando la aplicación del tránsito periférico de la ciudad de Riobamba en la mezcla con fibra y la mezcla de control.
- Elaborar muestras de concreto con adición de fibras de abacá para losas de pavimiento rígido y determinar un porcentaje óptimo.
- Realizar un análisis económico del concreto reforzado con fibras de abacá para determinar sus beneficios.

1.2. Descripción del documento

La presente investigación consta de 7 capítulos, los cuales están divididos de la siguiente manera:

En el **capítulo I** (Introducción), se muestra los antecedes del tema de estudio, la problemática de la investigación que sustenta el llevar a cabo el estudio, la justificación, los objetivos a cumplir en el proyecto y una descripción de los contenidos del documento.

En el **capítulo II** (Marco teórico), se realizó una revisión bibliográfica en base de datos de universidades y motores de búsqueda como Google académico, scopus y ProQuest para buscar información relacionada con pavimentos rígidos reforzados con fibras, se muestra aspectos generales para el diseño de espesores y finalmente conceptos sobre la fibra

de abacá (Definiciones, formas de producción y cosecha, tratamientos para evitar el debilitamiento en la matriz cementicia y finalmente las propiedades de la misma).

En el **capítulo III** (Metodología), se detalla los ensayos necesarios para caracterizar las propiedades físicas de la fibra y de los agregados fino y grueso, y finalmente se muestra el procedimiento experimental con su respectiva normativa de cada uno de los ensayos necesarios para ejecutar una correcta dosificación del hormigón.

En el **capítulo IV** (Resultados y discusión), se muestran las fichas con los resultados obtenidos de la caracterización de las propiedades físicas de la fibra y de los agregados, seguido de los resultados obtenidos de la dosificación necesaria, cálculo de número de ejes equivalentes, espesor de la losa y los resultados de los cilindros a compresión, compresión diametral indirecta y ensayos a flexión de las vigas prismáticas para obtener el módulo de rotura, finalmente se muestra una discusión de los mismos para interpretar y dar a conocer los aspectos más relevantes de los resultados de cada ensayo realizado.

En el **capítulo V** (Conclusiones y recomendaciones), se da a conocer las conclusiones obtenidas en la investigación y el cumplimiento de los objetivos planteados sobre la caracterización de las propiedades físicas de la fibra, valoración del módulo de rotura en función del tránsito periférico de Riobamba, la elaboración de mezclas de hormigón para determinar un porcentaje óptimo de fibra en la matriz, un análisis económico de un hormigón con fibra vs sin fibra, y finalmente las recomendaciones a considerar sobre un hormigón con adición de fibras de abacá.

En el **capítulo VI** (Bibliografía), se muestra las referencias de las fuentes de donde se obtuvo la información necesaria para llevar a cabo el presente proyecto.

En el **capítulo VII** (Anexos), se muestra imágenes de gran relevancia sobre el proceso de construcción de las vigas y la orientación de estas en la mezcla.

CAPÍTULO II.

2. MARCO TEÓRICO.

2.1. Estado del arte

2.1.1. Internacionales

Montalvo, M (2015), en su trabajo de investigación realizo losas de hormigón con la adición de fibras de acero para comparar los resultados obtenidos con losas tradicionales de concreto, por lo que recomienda trabajar con porcentajes de 0.25 a 2% de fibra de acero, ya que con porcentajes mayores se pierde trabajabilidad y dificulta su uso, para obtener una dosificación óptima entre hormigón y fibra se basó en el ensayo japones JSCE SF-4/22, el cual se obtiene experimentalmente al ir probando la mezcla con fibra.

Concluyendo principalmente que la adición de fibras de acero en losas de hormigón brinda un mejor comportamiento a flexión y que en el ámbito económico permite reducir los espesores hasta en 11 cm generando un ahorro del 13% del costo inicial de una losa tradicional.

Herrera & Quispe (2019), realizó ensayos en vigas de hormigón simple incorporando 0.1% de fibra de agave, dosificando de acuerdo al volumen de la viga. La resistencia a la compresión de diseño fue de 280 kg/cm^2. El principal resultado es que la adición de fibra en el concreto aumenta la resistencia a la compresión a 345.50 kg/cm^2. Por otro lado, al incorporar entre 0,50 y 1,00 % aumenta la resistencia a la flexión, pero disminuye la resistencia a la compresión. Se encontró que la adición de fibra de agave aumentó la resistencia a la flexión, redujo el agrietamiento y el desgaste por impacto.

2.1.2. Nacionales

Briseño, D (2016), realizó vigas de hormigón con un porcentaje de 1.5% de fibras de cabuya en función del peso del cemento, donde la fibra la colocó de 2 formas diferentes, la primera fue dispersa y mezclada con el hormigón y la segunda forma fue colocada en la base de la viga como una capa de refuerzo, de tal manera de determinar cuál daba mejores resultados, de los cuales a la edad de 28 días obtuvo resistencias a la flexión de 31.05 kg/cm^2 para las vigas sin fibra, 25.00 kg/cm^2 para las vigas con fibras ubicadas longitudinal y 33.04 kg/cm^2 para las vigas con fibras dispersas, donde se puede notar mayor incremento al colocar fibras de manera dispersa. Y de esta forma la fibra proporcionó una mejor adherencia con la matriz cementicia, generando una falla más dúctil que evita la propagación de fisuras en la viga de hormigón.

Estrella, S (2016), determinó que la inclusión de fibra de coco y un material compuesto a base de cabuya en el concreto, mejoraron la ductilidad e incrementaron el 93% de la resistencia en comparación con las vigas de hormigón simple. Los resultados obtenidos en las muestras de concreto, con el 3% de fibras de coco con longitudes de 5 cm, mejoraron la tenacidad considerablemente, ya que la presencia de fibras forma un puente para las grietas internas en el concreto.

Rivera & Sosa (2010), muestran las características de la fibra, la cuales miden 54 mm de longitud y 0.069 mm de diámetro, y se utilizó cantidades de fibra de 1.5, 2.0 y 2.5 kg/m^3, de los cuales luego de los ensayos pertinentes se concluyó que los mejores resultados se obtienen al 1.5 kg/m^3 de fibra, dando resultados del módulo de rotura de 5.46 MPa sin fibra y 5.98 MPa con la adición de fibra, evidenciando un incremento del 9.52% de resistencia y así mejorando las propiedades mecánicas del hormigón cuando se adiciona fibra en la matriz cementicia.

2.2. PAVIMENTO RÍGIDO

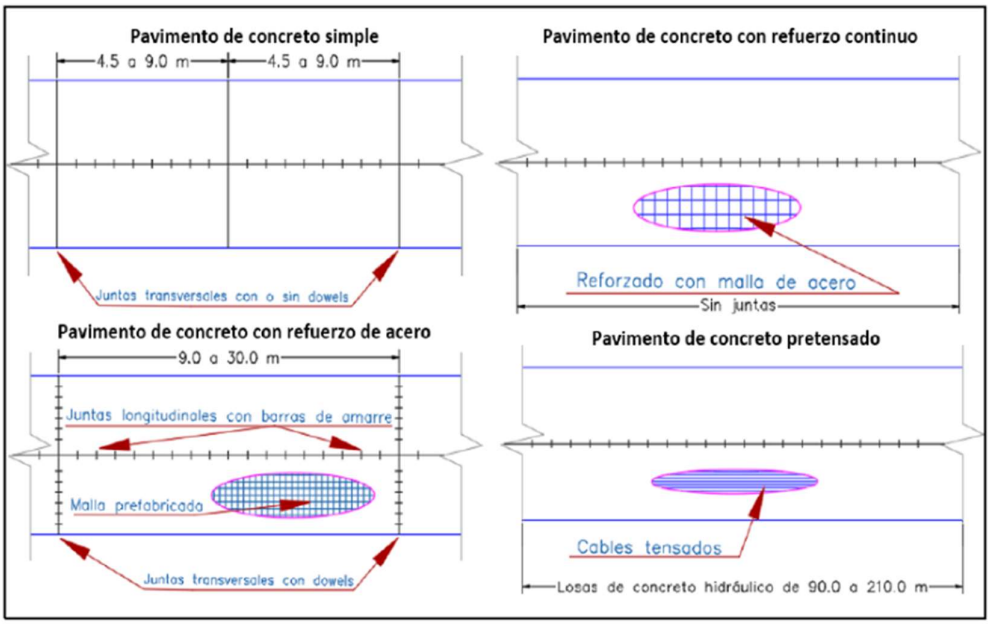
2.2.1. Definición

Un pavimento de hormigón se denomina "rígido" debido a la naturaleza de las losas de hormigón que lo componen. La losa absorbe casi todos los esfuerzos generados repetidamente por la carga del tráfico vehicular, proyectando los esfuerzos a las capas inferiores y finalmente a la subrasante con menor intensidad (Gómez & Rivero, 2019).

2.2.2. Tipos de pavimentos rígidos

Figura 1

Tipos de pavimentos rígidos



Fuente: (Vargas & Yataco, 2020)

2.2.2.1. Pavimentos de concreto.

Según Vargas & Yataco (2020), son aquellos que no están conformados por una armadura de acero en la losa de concreto y requieren de juntas tanto longitudinales como transversales con separaciones entre 3.50 a 6.00 m con el fin de evitar la presencia de grietas,

dichas juntas son pequeñas varillas de acero corrugado que transfieren las carga, conocidos como pasadores o dowels.

2.2.2.2. Pavimentos de concreto hidráulico con refuerzo de acero.

Son aquellos que están reforzados con mallas y varillas de acero en las juntas para generar una transferencia de carga entre losas (pasadores). La malla permite ampliar el espaciamiento entre juntas transversales, y controla la formación de fisuras en los paños (Vargas & Yataco, 2020).

2.2.2.3. Pavimentos de concreto hidráulico con refuerzo continuo.

En la losa se coloca refuerzo en la dirección longitudinal, con el fin de que no sea necesario el uso de juntas, en este caso es común la aparición de fisuras transversales, sin embargo, dichas fisuras son controlados y permanecen unidos por medio del refuerzo continuo (Vargas & Yataco, 2020).

2.2.2.4. Pavimentos de concreto hidráulico reforzado con fibras.

Este tipo de pavimentos incorporan fibras a la mezcla de concreto, pueden ser fibras sintéticas o metálicos. Las fibras al formar parte del concreto mejoran las propiedades mecánicas del concreto y un mejor control en la formación de fisuras en el pavimento (Vargas & Yataco, 2020).

2.2.3. Estructura del pavimento rígido

2.2.3.1. Losa

Transfiere tensiones a la subrasante con amplitudes mucho más pequeñas que un pavimento flexible y las distribuye en un área más grande. Otras funciones de la losa son: brindar una cómoda y segura superficie de rodadura (Rondón & Reyes, 2015).

2.2.3.2. Base y Subbase

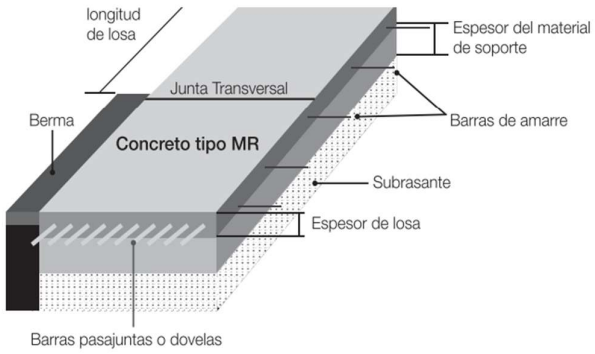
La capa de base consiste en un material granular no tratada que se coloca en la subbase. Esta capa se puede construir directamente sobre la subrasante cuando presenta buenas propiedades mecánicas (Rondón & Reyes, 2015).

2.2.3.3.Subrasante

Es la capa de suelo natural de la carretera a grado de corte o relleno en el desplazamiento de tierras y sirve de soporte a toda la estructura del pavimento. Esta capa está constituida por suelos que cumplan los requisitos mínimos aceptables que fueron compactadas por capas para que se encuentren en óptimas condiciones y no haga fallas a las losas (Chahua & Huayta, 2018).

Figura 2

Estructura del Pavimento Rígido



Fuente: (Ministerio de transporte & Instituto nacional de vías, 2008)

2.2.4. Materiales que Componen un pavimento rígido.

2.2.4.1. Concreto hidráulico.

Se denomina concreto hidráulico a la combinación de agua, cemento, arena y grava que al estar en contacto con el aire se endurece o fragua. Se utiliza en construcciones de edificaciones, vías, entre otras, debido a su durabilidad y resistencia a la compresión (Holcim, 2022).

2.2.4.2. Componentes del concreto hidráulico.

2.2.4.2.1. Material resistente.

En pavimentos rígidos y flexibles el material resistente hace referencia a los agregados como grava, arena, finos (naturales o pulverizados) (Rondón & Reyes, 2015).

Figura 3

Material resistente (Agregado Fino y Grueso)

2.2.4.2.2. Material Ligante

Son materiales cohesivos cuya función principal es la de unir, y toman su nombre del hecho de que se transforman en una forma física o química, o incluso en las dos, creando cohesión entre dos o más componentes que se transforman (Perales, 2017).

Hay 2 grandes grupos:

1. **Aglomerantes:** Son adhesivos que reaccionan físicamente (se secan y endurecen) para unir materiales. Como ejemplo se menciona a la pintura, el plástico, la resina, silicona, barro y betún (Perales, 2017).
2. **Conglomerantes:** Son aquellos que mediante un proceso químico pueden unir materiales entre sí, con la finalidad de formar un nuevo material, los conglomerantes se subdivide en:
   - **Aéreos**: Fraguan en presencia de aire, como la cal aéreo y el yeso (Perales, 2017).
   - **Hidráulicos:** Fraguan al contacto con el agua y aire, como el cemento y la cal hidráulica (Perales, 2017).

2.2.4.2.3. Agua

El agua hace las veces de elemento reactivo del cemento y como compuesto para el mezclado y curado del concreto. El agua que se incorpore en las mezclas para concreto hidráulico debería estar independiente de aceites, ácidos, sacarosa, materia orgánica y cualquier otro tipo de sustancia dañino al concreto culminado. Si se labora con agua potable, esta no necesita de ningún tipo de ensayos para lograr ser integrada en la mezcla de concreto. Caso contrario, se deberá realizar ensayos tal como lo establece la norma ASTM D-1293 y ASTM C-403 (Vega, 2019).

2.2.4.2.4. Aditivos

Se entiende por aditivos a todos esos elementos que son incorporados en una mezcla de concreto y que son extras a los convencionales (Agua, cemento, añadido fino y grueso), cuya funcionalidad primordial es la de cambiar las características del concreto y hacer que este se adecúe a las exigencias propias del pavimento a edificar, teniendo particular cuidado en no intervenir de manera negativa en las características de la mezcla, lo que se puede verificar por medio de ensayos hechos con anticipación a elaborar la mezcla definitiva (Vega, 2019).

2.2.4.2.4.1. Tipos de aditivos.

Según NEVI (2013), los aditivos que pueden ser utilizados en hormigones de cemento hidráulico en campo son con los siguientes fines:

- **Reductor de agua o plastificante:** Permite un incremento en el asentamiento de un hormigón fresco, sin colocar más cantidad de agua o a su vez se puede colocar una menor cantidad de agua en la mezcla.
- **Retardante:** Prolonga el tiempo de fraguado.

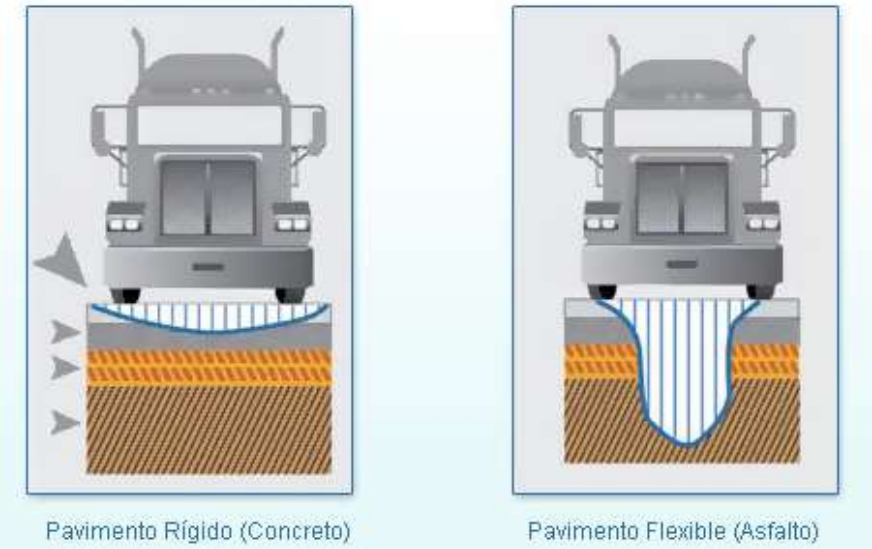
- **Acelerante:** Acelera la resistencia en los primeros días del hormigón, y apresura el tiempo de fraguado.
- **Reductor de agua y retardante.**
- **Reductor de agua y acelerante.**
- **Reductor de agua de alto rango:** La reducción del agua en la mezcla es de al menos un 12% para una consistencia determinada, conforme a la norma ASTM C494.
- **Reductor de agua de alto rango y retardante.**

2.2.5. Formación de fisuras debido a la flexión en pavimentos rígidos

En pavimentos rígidos la losa de hormigón hidráulico está sometida a cargas vehiculares (cargas externas), estos generan esfuerzos, se distribuyen en una gran zona del pavimento, donde el mayor esfuerzo, se genera en el centro del vehículo y se va reduciendo a medida que se aleja, ver ***Figura 4***.

Figura 4

Distribución de esfuerzos debido a cargar vehiculares sobre el pavimento



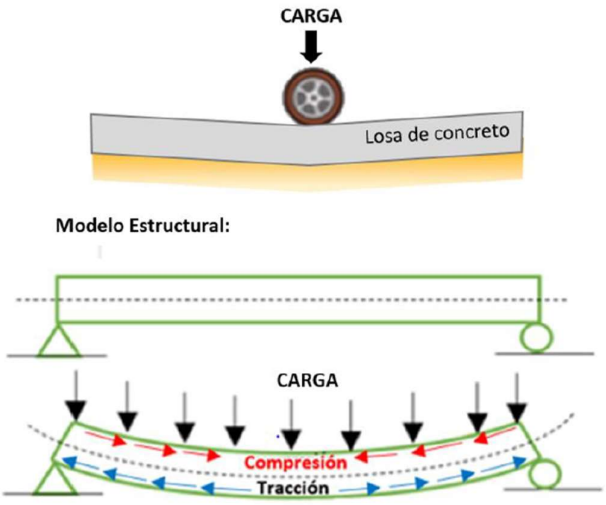
Fuente: (García, 2017)

Las cargas vehiculares aplicadas sobre la losa de pavimento rígido provocan una distribución de esfuerzos que generan desplazamientos verticales pequeños, proporcionales al esfuerzo aplicado. Para explicar esto de mejor manera podemos hacer referencia a una viga simplemente apoyada flexionándose por las cargas vehiculares aplicadas (Vargas & Yataco, 2020).

Este ejemplo de viga simplemente apoyada con carga aplicada se la puede apreciar en la **Figura *5***.

Figura 5

Modelo estructural de viga simplemente apoyada para pavimento rígido

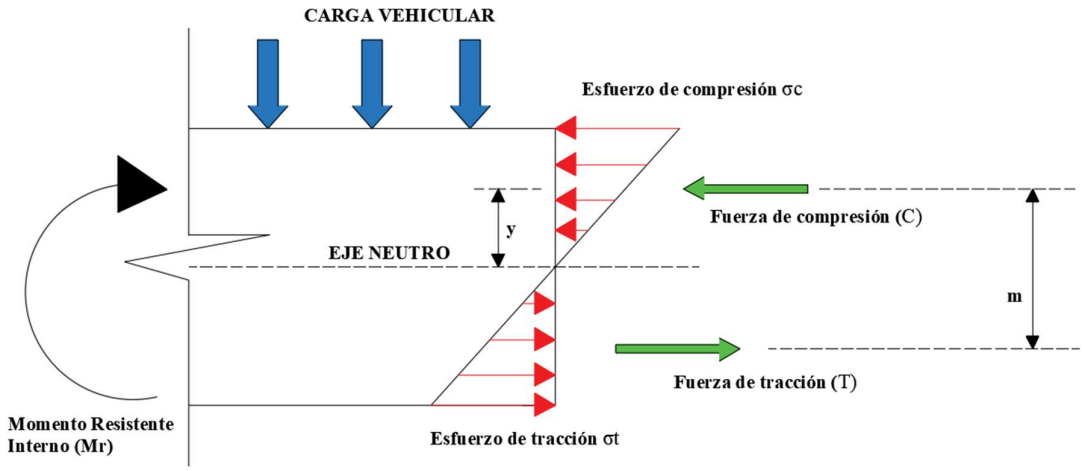


Fuente: (Vargas & Yataco, 2020)

Para analizar el comportamiento interno de un pavimento rígido, podemos realizar un corte transversal al modelo de viga simplemente apoyada y asumir que se encuentra en el rango elástico, para lo cual mediante un esquema donde se muestra la asignación de esfuerzos internos de tensión y compresión, que presenta una losa por el arqueamiento provocado por la aplicación de cargas externas, como se ve en la ***Figura 6***.

Figura 6

Distribución de esfuerzos en la sección de la losa de hormigón dentro del rango elástico



Fuente: (Pilicita & Puluche, 2022)

En la ***Figura 6***, se puede observar que en un pavimento las cargas vehiculares producen en la losa esfuerzos de compresión en la parte superior, que se van reduciendo

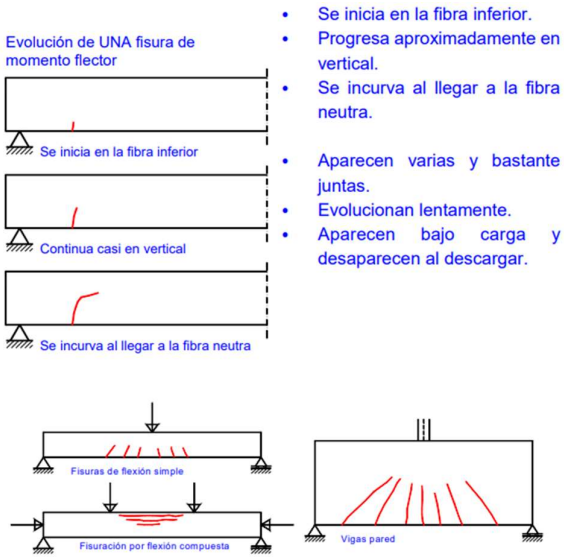
conforme se llega al eje neutro, donde se vuelve nulo en una dirección imaginara, por debajo del eje neutro se presentan esfuerzos de tracción o tensión, siendo máximo en la parte más baja de la losa de concreto (Vargas & Yataco, 2020).

En el estado endurecido del concreto se pueden generar fisuras por cargas de vehículos que generan esfuerzos a flexión. Se conoce que el concreto tiene una alta resistencia a la compresión, pero baja resistencia a la tracción, es decir, mientras la resistencia a flexión (módulo de rotura) sea mayor, la losa de pavimento deberá resistir sin ningún daño la flexión producida por la aplicación de cargas vehiculares y después regresar a su posición inicial (Vargas & Yataco, 2020).

Cuando los esfuerzos de flexión superen el módulo de rotura de la estructura se presentarán fisuras en el concreto o cuando se supere las cargas repetitivas del tránsito calculadas para el periodo de diseño (fisuras por fatiga). Como se mencionó antes, los esfuerzos por tensión máximos son producidos en la parte inferior de la losa, por lo que la fisura comenzará en la base e ira subiendo hasta la superficie, como se observa en la ***Figura 7*** (Vargas & Yataco, 2020).

Figura 7

Formación y propagación de fisuras debido a esfuerzo de flexión



Fuente: (Pérez, 2015)

2.2.6. Factores que influyen en la Performance de los Pavimentos

2.2.6.1.Tráfico

Los factores que influyen son las cargas, presión de los neumáticos, las características del lugar de fundición y los materiales empleados en el pavimento, la repetición de carga, la rapidez, el tipo de eje y la configuración de rueda (Vargas & Yataco, 2020).

2.2.6.2. Clima

Los factores que influyen son la lluvia (el neumático puede perder contacto con el pavimento), la dilatación por congelamiento, la contracción y extensión por temperatura, los efectos de congelamiento por gradiente de temperatura y la alteración de clima húmedo-seco (Vargas & Yataco, 2020).

2.2.6.3. Geometría del proyecto.

Los aspectos que influyen son la distribución del tráfico, la composición, las secciones de corte y relleno, el nivel freático, los deslizamientos e inconvenientes involucrados (Vargas & Yataco, 2020).

2.2.6.4. Construcción y mantenimiento.

Los factores que influyen son la mala compactación de la fundación, fallas por una mala instalación de juntas, mala colocación de las guías que controlan el espesor de la los (reglas metálicas), supresión de materiales. (Vargas & Yataco, 2020).

2.3. Diseño de pavimentos rígidos.

2.3.1. Espesor de Losa Para Pavimento Rígido.

Un parámetro de diseño corresponde al espesor de la losa, esto se puede observar en la ***Ecuación 1*** propuesta por la AASHTO (1993), el procedimiento consiste en colocar un espesor de losa supuesto, se realiza el cálculo de ejes equivalentes (W_{18}) y se verifica que la ecuación quede en equilibrio, caso contrario se deberá colocar otro espesor hasta que se genere un equilibrio (Arroyo, 2010).

Ecuación 1 Fórmula propuesta por la AASTHO para cálculo del espesor de losa.

$$\log W_{18} = ESAL's = Z_R * S_O + 7.35\, log\,(D+1)\, - 0.06 + \frac{lg\frac{\Delta PSI}{4.5-1.5}}{1+\frac{1.625*10^7}{(D+1)^{8.46}}} + (4.22 - 0.32P_t) * log\left(\frac{S'_C * C_d(D^{0.75}-1.132)}{215.63J*\left(D^{0.75}-\frac{18.42}{\left(\frac{E_C}{K}\right)^{0.25}}\right)}\right)$$

Donde:

- $W_{18} = ESAL's$= Número de ejes equivalentes de 18 kips o 80kN equivalente al tránsito estimado para el periodo de vida útil.
- Z_R= Factor de desviación normal para el nivel de confiabilidad R.
- S_O= Desvío estándar de todas las variables.
- D= Espesor de la losa (pulgadas).
- ΔPSI= Perdida de serviciabilidad prevista en el diseño.

- P_t= Serviciabilidad final.
- S'_C= Módulo de rotura del hormigón (PSI).
- J= Coeficiente de transferencia de cargas.
- C_d= Coeficiente de drenaje.
- E_C= Módulo de elasticidad del hormigón (PSI)
- K= Módulo efectivo de reacción de la subrasante (PSI/in)

Los métodos de diseño de pavimentos hidráulicos más utilizados son AASHTO (1993) y el método PCA en 1984, estos métodos establecen características de diseño y espesores distintos, a pesar de realizar un diseño bajo las mismas condiciones el resultado es distinto. El Manual del INVIAS considera las variables más importantes que influyen en el espesor de los métodos de diseño AASHTO-93 y PCA versión 1984.

Según el Manual de diseño de pavimentos de concreto para volúmenes bajos, medios y alto de tráfico (2008), para seleccionar el espesor del pavimento se debe seguir el siguiente procedimiento:

1. **Conocer el tránsito:**

Tabla 1

Categorías de tránsito para la selección de espesores

Categoría	Tipo de Vía	TPDs	Ejes acumulados de 8.2 (T)
T0	(Vt) - (E)	0 a 200	<1'000.000
T1	(Vs) - (M o A) - (CC)	201 a 500	1'000.000 a 1'500.000
T2	(Vp) - (A) - (AP-MC-CC)	501 a 1.000	1'500.000 a 5'000.000
T3	(Vp) - (A) - (AP-MC-CC)	1.001 a 2.500	5'000.000 a 9'000.000
T4	(Vp) - (A) - (AP-MC-CC)	2.501 a 5.000	9'000.000 a 17'000.000
T5	(Vp) - (A) - (AP-MC-CC)	5.001 a 10.000	17'000.000 a 25'000.000
T6	(Vp) - (A) - (AP-MC-CC)	Más de 10.001	25'000.000 a 100'000.000

Fuente: (Ministerio de transporte & Instituto nacional de vías, 2008)

2. Se debe conocer el tipo de suelo presente, a partir de la capacidad del suelo podemos definir si el pavimento necesitará dovelas o no y bermas laterales o no, además se debe seleccionar el tipo de soporte sobre el cual se desea construir el pavimento.

Tabla 2

Clasificación de la subrasante en función de su resistencia

Clase o Tipo	CBR%	Módulo resiliente (MR) en kg/cm^2
S1	< 2	< 200
S2	2 – 5	200 – 500
S3	5 – 10	500 – 1000
S4	10 – 20	1.000 - 2.000

S5	> 20	> 2.000

Fuente: (Ministerio de transporte & Instituto nacional de vías, 2008)

Tabla 3

Clasificación de los materiales de soporte para el pavimento de concreto

Denominación	Descripción
SN	Subrasante Natural
BG	Base Granular
BEC	Base Estabilizada con Cemento

Fuente: (Ministerio de transporte & Instituto nacional de vías, 2008)

Tabla 4

Denominación del sistema de transferencia de cargas y confinamiento lateral

Denominación	Descripción
D	Dovelas
B	Bermas
No D	No Dovelas
No B	No Bermas

Fuente: (Ministerio de transporte & Instituto nacional de vías, 2008)

3. Finalmente, seleccionamos la calidad del concreto, es decir, el módulo de rotura (MR).

Tabla 5

Valores del módulo de rotura del concreto

Descripción	Resistencia a la flexión (kg/cm^2)
MR1	38
MR2	40
MR3	42
MR4	45

Fuente: (Ministerio de transporte & Instituto nacional de vías, 2008)

El módulo de rotura o resistencia a la flexión es la capacidad que tiene un pavimento a soportar fuerzas aplicadas perpendicular a su eje longitudinal, para la determinación de la resistencia a la flexión o módulo de rotura se debe utilizar vigas para el ensayo con cargas aplicadas a los tercios como lo establece la norma NTE INEN 2554.

En resumen, en la ***Tabla 6*** se muestran todas las variables que se consideran para obtener el espesor del pavimento rígido según el "Manual de diseño de pavimentos de concreto para volúmenes bajos, medios y alto de tráfico".

Tabla 6

Variables consideradas en los análisis de diseño del pavimento

Suelos	Tránsito	Transferencia y Confinamiento	Soporte	Concreto
S1 (CBR<2)	T0 (ESALs < 1x10^6)	D y B (Dovelas y Bermas)	SN (Subrasante)	MR1 = 38MPa
S2 (2<CBR<5)	T1 (1x10^6 ESALs < 1.5x10^6)	D y No B (Dovelas y No Bermas)	BG (15 cm BG)	MR2 = 40MPa
S3 (5<CBR<10)	T2 (1.5x10^6 ESALs < 5x10^6)	No D y B (No Dovelas y Bermas)	BEC (15cm BEC)	MR3 = 42MPa
S4 (10<CBR<20)	T3 (5x10^6 ESALs < 9x10^6)	No D y No B (No Dovelas y No Bermas)		MR4 = 45MPa
S5 (CBR>20)	T4 (9x10^6 ESALs < 17x10^6)			
	T5 (17x10^6 ESALs < 25x10^6)			
	T6 (25x10^6 ESALs < 100x10^6)			

Fuente: (Ministerio de transporte & Instituto nacional de vías, 2008)

Por último, una vez definidas todas las variables se debe encontrar el espesor del pavimento en función de la combinación de variables del tránsito, estos valores se encuentran definido en la Tabla 4-1 a Tabla 4-7 del Manual de diseño de pavimentos de concreto para volúmenes bajos, medios y alto de tráfico (2008), cuyos resultados son producto de más de 70 000 diseños obtenidas a partir de metodologías de diseño de AASHTO-93 y PCA-84**.**

2.3.2. Período De Diseño y vida útil.

El número de años de diseño de un pavimento rígido depende del tipo de vía que se necesite y de condiciones económicas. Por su funcionalidad se recomienda que el período de diseño sea de por lo menos 20 años o más. Por otro lado, la vida útil se refiere al número de años que el pavimento permite la circulación del tránsito en buenas condiciones de operación (Álvarez, 2008).

El periodo de vida útil que debe cumplir un pavimento rígido como lo indica la AASHTO (1993) se muestran en la ***Tabla 7*** de acuerdo al tipo de vía que va a ser diseñada.

Tabla 7

Periodo de diseño

Tipo de Carretera	Periodo de Diseño (Años)
Urbana de tránsito elevado	30 - 50
Interurbana de tránsito elevado	20 - 50
Pavimentada de baja intensidad de tránsito	15 - 25
De baja intensidad de tránsito, pavimentación con grava	10 - 20

Fuente: (AASHTO, 1993)

2.3.3. Ejes estándar equivalentes de carga (ESALs)

El método AASHTO define a "Ejes estándar equivalentes de carga" (ESALs), como una conversión de un tránsito mixto conformado por vehículos diferente peso y ejes en un número equivalente de ejes de 8KN o 18kips, en el Sistema Internacional 8.2 T, para lo cual se realiza a través de factores de carga LEF ("Load Equivalent Factor") (IBCH, 2006).

2.3.4. Factores equivalentes de carga (LEF)

Durante la prueba de carretera de la AASHTO, ellos realizaron algunos Tests con diferentes configuraciones de carga y ejes en otros pavimentos similares, y de ahí surgió la idea de convertir el tráfico mixto en un número de ESAL de 80 KN.

El factor equivalente de carga (LEF) se refiere a un número que indica la pérdida de serviciabilidad, el cual se genera entre una carga dada de un tipo de eje y por el eje estándar (80 KN) (IBCH, 2006).

$$LEF = \frac{No.\,de\ ESALs\ de\ 80\ KN\ que\ producen\ una\ pérdida\ de\ serviciabilidad}{No.\,de\ ejes\ de\ x\ KN\ que\ producen\ la\ misma\ pérdida\ \ de\ serviciabilidad}$$

2.3.5. Factor camión

El factor de camión expresa como la suma de todo el daño producido por cada eje de un vehículo (IBCH, 2006).

$$Factor\ de\ Camión\ (FC) = \frac{N°\ ESALs}{N°\ de\ camiones}$$

2.4. Diseño de la mezcla de hormigón

La elección de las cantidades necesarias de agregados que conforman el hormigón, para alcanzar las resistencias de diseño requeridas, se lo conoce como diseño de mezcla de hormigón, y se lo puede llevar a cabo por distintos métodos de dosificación que ayudan en el proceso de selección de la combinación más económica y conveniente de agregados que conforman la mezcla de concreto en nuestro proyecto, con el propósito de obtener un producto que en estado fresco, tenga la trabajabilidad y consistencia necesaria para garantizar un correcto uso de la misma, y que en estado endurecido cumpla con las especificaciones necesarias que dicta las normativas pertinentes (Belito & Paucar, 2018).

2.4.1. Método de la densidad óptima

El método de la densidad óptima está basado en la cantidad mínima de pasta necesaria para un concreto de buena calidad, a partir de la combinación de agregados finos y gruesos que dejen el menor porcentaje de vacíos. El procedimiento es el siguiente:

1) Selección relación agua/cemento (W/C), en función de la resistencia a la compresión de diseño.
2) Cálculo densidad real de la mezcla (DRM) de agregado fino con grueso.
3) Cálculo porcentaje óptimo de vacíos (%OV).
4) Cantidad de pasta (CP)
5) Cantidad de cemento (C)
6) Cantidad de agua (W)
7) Cantidad de agregados
8) Dosificación al peso
9) Corrección de humedad a la dosificación

2.5. CLASIFICACIÓN DE FIBRAS

2.5.1. SEGÚN SU TAMAÑO

De acuerdo con Espinoza (2015) según su tamaño se puede clasificar en Macro-fibras (estructurales) y micro-fibras (no estructurales).

2.5.1.1. Macro-fibras

Son aquellas que trabajan estructuralmente en un elemento de construcción. Dentro de los materiales que son más usados están: fibras de acero, fibrasde vidrio, fibras sintéticas y naturales. Las fibras son agregadas en cada elemento para posteriormente se sitúen en cualquier dirección de forma dispersa. La función que cumplen las fibras es de reemplazar al armado estructural, ya sea por parte de las varillas de refuerzo o la malla electrosoldada, las cuales tienen como finalidad generar un incremento en cuanto a la tenacidad del concreto y aumentar la resistencia al someterse a la carga luego de presentar la primera fisura. Una propiedad importante del concreto reforzado con fibra es la capacidad de absorción de energía o la denominada tenacidad. Otro beneficio es el incremento de resistencia al impacto. Cuando se añade fibras al concreto podemos controlar las fisuras durante la vida útil del

elemento. El diámetro promedio está entre 0.25 mm y 1.5 mm, con longitudes variables entre 13 mm y 70 mm (Espinoza, 2015).

2.5.1.2. Micro-fibras

La contribución está basado a nivel superficial. Son fibras de origen plástico, fibras de polipropileno, fibras de polietileno o fibras de nylon, las cuales repercuten, o a su vez eliminan el efecto dentro de la mezcla de segregación y previenen la contracción plástica del elemento. Se ha encontrado que al incorporar fibras multifilamento dan mejores resultados, principalmente con longitudes entre los 12 y 75 mm y una dosificación de 0.6 kg/m3 y 1 kg/m3, en la mezcla de concreto (Espinoza, 2015).

2.5.2. SEGÚN SU ORIGEN

Las fibras según su origen se las pude clasificar de la siguiente manera:

Tabla 8

Tipos de fibras

Fibras Naturales	**Vegetales**	De semillas y frutos	Coco
		De tallo	Abacá, bambú, Lino
		De hoja	Sisal, esparto, miraguano
	Animal	Glándulas Sedosas	Seda
		Folículos Pilosos	Angora, cachemire, lana
	Minerales	Amianto, Metales	Plata, oro
Fibras Químicas	**Artificiales**	Celulósicas	Látex, caucho
		Proteínicas	Animales, algas, vegetales
		Metálicas	Plata, cobre, oro
	Sintéticas	Policondensación	Poliéster, poliamida
		Polimerización	Polipropileno, polivinilo, poliuretano

Fuente: (Carrasco, 2016)

2.5.2.1. Fibras Naturales

Son aquellas que se obtienen de forma natural, se pueden encontrar más de 500 especímenes de fibras naturales (Hilados, 2020).

Figura 8

Fibras Naturales

Fuente: (Hilados, 2020)

La empresa Hilados (2020) establece las siguientes propiedades de las fibras naturales:

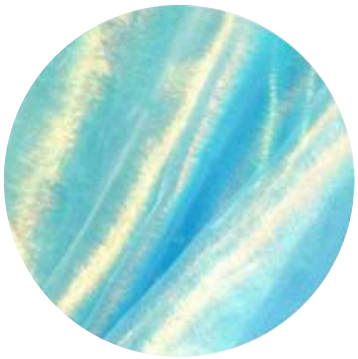
a) **Longitud:** Por lo general a mayor longitud de fibra mayor suavidad.
b) **Finura:** Se mide en micras y está dada por el diámetro de la fibra, cuanto menor sea el diámetro menor suavidad.
c) **Uniformidad:** Una menor variación de la finura de la fibra resultan en un mejor comportamiento de la fibra.
d) **Resistencia:** La resistencia se obtiene a partir de la aplicación de una fuerza que estire la fibra hasta que se rompa.

2.5.2.2. Fibras Químicas

Son aquellas fibras que se han obtenido por la participación del hombre, ya que son elaboradas a partir de polímeros sintéticos, a estas les denomina "Fibras Sintéticas", y si son elaboras a partir de polímeros naturales se les denomina "Fibras Artificiales" (Hilados, 2020).

Figura 9

Fibras químicas



Fuente: (Hilados, 2020).

La empresa Hilados (2020) establece las siguientes propiedades de las fibras químicas:

a) **Punto de fusión:** Las fibras sintéticas son fabricadas con altas temperaturas, el punto en que se ablandan se conoce como punto de fusión.
b) **Sección transversal:** Por lo general tienen forma redonda.
c) **Resistencia química:** Por lo general las fibras sintéticas poseen una alta resistencia química.
d) **Resistencia:** La resistencia se obtiene mediante la aplicación de una fuerza que estire la fibra hasta que se rompa.

2.6. DURABILIDAD DE LAS FIBRAS NATURALES EN EL CONCRETO

Para garantizar la durabilidad de las propiedades mecánicas de la fibra dentro del hormigón es necesario la utilización de agentes protectores que permitan tener una protección contra el medio alcalino que se genera en la mezcla cementicia y a su vez refuerzo en el largo plazo. Para ellos existen diversos tipos de tratamientos que se pueden ocupar para la protección de la fibra.

Juárez, C (2002) propone algunos tipos de agentes protectores para garantizar la durabilidad de la fibra dentro de la matriz cementicia, los mismos que se muestran a continuación:

- **Aceite de linaza:** Este aceite es extraído térmicamente de la semilla de lino, de color ámbar y se polimeriza fácilmente, formando una película elástica con impermeabilidad, ampliamente usado en la construcción.
- **Parafina:** Es una cera que a temperatura ambiente se la encuentra en estado sólido, y que tiene un punto de fusión de aproximadamente 67 ºC, el cual es producto de una mezcla de hidrocarburos que se obtiene de subproductos derivados del petróleo, mismo que se utiliza en la fabricación de ungüentos, velas y papel y telas impermeables.
- **Brea:** La resina natural, llamada colofonia en Europa, se extrae de coníferas que se da en arboles como el Pino. El cual a temperatura ambiente se presenta en estado sólido, de un color oscuro y quebradizo. Que a temperaturas alrededor de 90 y 100°C se derrite, y se convierte en una sustancia pegajosa, la cual tiene la capacidad de mezclarse con disolventes como el disolvente de petróleo y es insoluble en agua.
- **Sellador de madera:** Es un producto fabricado a base de resina de nitrocelulosa. El cual se diluye con la ayuda de un solvente, y se usa poder impermeabilizar superficies como madera.
- **Creosota:** Producto utilizado como pesticida y conservante de la madera debido a que está formado de fenol y creosol, y que ha sido aplicado principalmente en durmientes de tren.
- **Hidróxido de sodio:** Producto que ha temperatura ambiente se lo encuentra en estado sólido de un color blanco cristalino, utilizado ampliamente en el ámbito industrial, ya que, al ser disuelto en agua, es capaz de liberar grandes cantidades de calor que pueden encender materiales de tipo combustibles, y tiende a ser muy corrosivo debido a sus componentes químicos.

2.7. ABACÁ EN EL ECUADOR

2.7.1. Definición planta de abacá:

La planta de abacá también conocida como “Cáñamo de Manila, puede llegar alcanzar alturas de hasta 7 m. La misma que tiene gran similitud con la mata de plátano, pero lo que destaca la una de la otra es su fruto, ya que el abacá no produce frutos comestibles, en cambio el racimo de verde es completamente comestible, sin embargo, lo que más destaca

del abacá es la fibra que se extrae de su tallo y que es muy utilizado en el ámbito textil (Pera, 2019).

2.7.2. Definición fibras de abacá:

Las fibras son obtenidas del tallo de la planta de abacá están compuestas químicamente por aproximadamente un 77% de celulosa y un 9% de lignina. Estas fibras se pueden encontrar en longitudes de hasta 3 m, presentan una gran resistencia mecánica y resistencia al daño producido por agua salada. Las mejores fibras de abacá se son brillantes, finas y de un color habano claro (Calderón & Ortega, 2020).

2.7.3. Importancia:

En el Ecuador se considera al abacá importante debido a que presenta una mayor resistencia en comparación de otro tipo de fibras naturales, y dentro de las fibras artificiales tiene un importante lugar por su durabilidad (Torres, 2021).

2.7.4. Usos:

La fibra de abacá se usa en la producción de redes de pesca, filtros, papel moneda, bolsas de té y papel, para producir cordajes (conjunto de cuerdas para formar raquetas o instrumentos de cuerda), comúnmente la fibra se combina con polímeros para uso en la industria automotriz, otro de sus usos es en la fabricación de cuerdas debido a la gran resistencia a la tensión y que difícilmente se deteriora (Torres, 2021).

2.7.5. Requerimiento de clima y suelo:

En el Ecuador el abacá se cultiva en un clima húmedo-tropical, con temperatura entre 25 ± 3 °C. Para el cultivo es esencial la presencia de humedad y la luz solar. Se necesita entre 18 y 24 meses para que la planta de abacá alcance la madurez, luego de ello la cosecha se podría realizar cada 3 meses (Chang & Montero, 2015).

2.7.6. Calidad de las fibras de Abacá:

Existen 5 calidades de fibra, se identifican del exterior al interior del tallo, la parte interior es la de mayor calidad. La fibra de quinta clase representa un 15%, la cuarta un 25%, la tercera un 25%, la segunda un 20% y la primera un 15% (Torres, 2021).

Por su color y tamaño existen 3 tipos. El primero es de color rojizo o verde y corresponde a las fibras de baja calidad, seguidas las más oscuras, gruesas y cortas. Finalmente, en el centro del tallo se halla la fibra más corta y de mayor calidad del mundo y principal característica es un color completamente blanco. (Torres, 2021).

2.7.7. Zonas productoras en el Ecuador:

De acuerdo con los datos obtenidos por el MAGAP, sobre la producción de abacá en Santo Domingo existe una producción del 80%, Esmeraldas 10% y Los Ríos 10%. Esta es una estimación de la cantidad obtenida de la encuesta por muestreo y los datos son solo una

referencia ya que no han sido documentados y publicados oficialmente por el INEC ya que los errores asociados pueden ser muy altos (Calderón & Ortega, 2020).

Figura 10

Provincias productoras de abacá en el Ecuador

Fuente: (Calderón & Ortega, 2020)

2.7.8. Industrias Productoras de abacá en Ecuador

El mayor productor de abacá es la empresa "Furukawa" de origen filipina ubicada en la provincia de "Santo Domingo de los Tsáchilas", que gracias a su clima húmedo - tropical ha encontrado un lugar de trabajo por más de cincuenta años, en "Santo Domino" también se encuentra la empresa, "Cooperativa de producción industrial abacá-Ecuador" y "TerranovaPaper" (Quevedo, 2019).

2.7.9. Precio de la fibra de abacá

Los precios que se presentan en la *7* **Tabla** *7* se obtuvieron con base en entrevistas abiertas realizadas a productores del sector de "Santo Domingo de los Tsáchilas", ubicados en la vía a Quevedo km 30 y vía a Umpe chico.

Tabla 9

Precio de la fibra de abacá de productores del sector

Calidad	Precio para 1 kg
1	$ 2.50
2	$ 2.30
3	$ 2.10
4	$ 1.85
5	$ 1.60

Fuente: (Pilicita & Puluche, 2022)

2.7.10. Proceso de producción fibra de Abacá.

En la empresa Terranova Papers la producción de las fibras de abacá consiste en ocho pasos, mismos que son ejecutados dentro de sus plantas productoras de Filipinas y Ecuador.

1) Cosecha del Abacá.
2) Separación de la corteza y el tronco.
3) Descortezado a mano.
4) Descortezado mecánico.
5) Secado a la intemperie.
6) Limpieza y clasificación.
7) Prensado y almacenamiento.
8) Comercialización.

Figura 11

Proceso de fabricación de fibras de Abacá

Fuente: (TerranovaPapers, 2022)

2.7.11. Propiedades fibra de abacá

2.7.11.1. Propiedades mecánicas y físicas:

De acuerdo con Benavides (2017) las propiedades mecánicas del abacá son las siguientes:

- Esfuerzo último a la tracción (MPa): 774.7 – 1261.3
- Módulo de elasticidad (GPa): 18.5 – 37.2
- Deformación unitaria (%): 3.10 – 4.27
- Absorción de agua (%): 8 – 10
- Densidad (g/cm3): 1.3

2.7.11.2. Propiedades químicas:

De acuerdo con Benavides (2017) las propiedades químicamente las fibras de abacá están conformadas por:

- Celulosa (%): 63 – 70.1
- Hemicelulosa: (%): 20 – 21.8
- Pectina (%): 0.6
- Lignina (%): 5.7 – 6

CAPÍTULO III.

3. METODOLOGIA.

3.1. Tipo, método, nivel y diseño de la Investigación.

3.1.1. Tipo de investigación

La presente investigación es de tipo exploratoria y explicativa. Exploratoria porque el tipo de fibra a utilizarse para modificar un hormigón para losas de pavimento rígido no ha sido estudiado y no se tiene resultados del efecto que causa en el mismo, por otro lado, se basa en un nivel de investigación explicativa, ya que tiene sus bases en un diseño experimental en donde la variable dependiente (Módulo de rotura) y la variable independiente (Proporción de fibra) serán manipuladas en laboratorio para ver el efecto que tiene la una sobre la otra.

3.1.2. Método de la investigación

Dentro de los métodos usados corresponde al cuantitativo y cualitativo, cuantitativo, ya que los resultados del módulo de rotura (MR) obtenidos en laboratorio serán procesados y tabulados para poder analizar su comportamiento con y sin adición de fibra y mediante el método cualitativo se podrán describir y discutir dichos resultados para un mejor entendimiento del caso de estudio.

3.1.3. Nivel de investigación

La investigación tiene un nivel descriptivo, ya que se busca detallar de la manera más precisa el comportamiento a flexión de una viga de concreto para losas de pavimento rígido sin y con la adición de fibras de abacá hasta obtener un porcentaje óptimo y de esta manera determinar si los resultados son favorables o no para ser usados en proyectos reales de Ingeniería Civil.

3.1.4. Diseño de investigación

El diseño de la investigación es de tipo experimental y descriptivo.

La investigación tiene un diseño experimental, debido a que el proceso llevado a cabo para la obtención de resultados no es mediante recolección de información de fuentes bibliográficas, sino que se van a llevar a cabo ensayos en laboratorio con el propósito de establecer la relación que tiene la variable dependiente (Módulo de rotura) y la variable independiente (Proporción de fibra) y de esta manera determinar y realizar un análisis del efecto de la una sobre la otra.

Por último, se llevó a cabo un diseño descriptivo que permitió representar el comportamiento del módulo de rotura (MR) del concreto con fibras de abacá vs. un concreto sin fibras, usado en losas de concreto para pavimento rígido.

3.2. Población y muestra

3.2.1. Población

La población de estudio para nuestro proyecto será los materiales compuestos utilizados para reforzar losas de concreto para pavimento rígido que se encuentren en nuestro medio.

3.2.2. Muestra

En la presente investigación se tomó como muestra, un concreto simple para pavimento rígido reforzado con fibras de abacá.

Para el estudio se llevó a cabo un total de 61 muestra, correspondientes a 21 cilindros y 40 vigas de material compuesto, que fueron ensayadas para determinar su módulo de rotura (MR) tal como se puede ver en **Tabla *10***.

Tabla 10

Muestra de la investigación

CILINDROS	
Concreto simple	6
Concreto simple + Aditivo acelerante	3
Concreto simple + 0.25% de fibra de abacá	6
Concreto simple + 0.50% de fibra de abacá	6
Total (Cilindros)	**21**
VIGAS	
Concreto simple	6
Concreto simple + 0.25% de fibra de abacá-Dispersa	6
Concreto simple + 0.25% de fibra de abacá-Longitudinal	6
Concreto simple + 0.50% de fibra de abacá-Dispersa	6
Concreto simple + 0.50% de fibra de abacá-Longitudinal	6
Concreto simple + Aditivo Acelerante	7
Concreto simple + 0.50% de fibra de abacá-Longitudinal + Aditivo Acelerante	3
Total (Vigas)	**40**

Fuente: (Pilicita & Puluche, 2022)

3.3. Operacionalización de variables

Tabla 11

Operacionalización de la variable independiente

Dimensión	Conceptualización	Indicadores	Técnicas	Instrumentos

Propiedades físicas de la fibra de abacá.	Proyecto de investigación enfocado en conocer las propiedades físicas de la fibra de abacá.	Investigaciones y trabajos de grado enfocados en el tema a tratar.	Ensayos realizados en los laboratorios de la UNACH.	Fichas, informes y tesis realizadas en la UNACH.
Propiedades físicas del agregado fino y grueso.	Proyecto de investigación para determinar las propiedades físicas de los agregados a usar en la mezcla de hormigón.	Tesis realizadas en la UNACH.	Ensayos realizados en los laboratorios de la UNACH.	Fichas, informes y tesis realizadas en la UNACH.
Longitud y porcentaje óptimo de fibra.	Establecer una longitud y porcentaje óptimo de fibras de abacá a usar en la mezcla de hormigón.	Artículos científicos y tesis de grado a nivel nacional e internacional.	Observación.	Información de base de datos y motores de búsqueda confiables.
Número de especímenes.	Establecer una cantidad necesaria de vigas y cilindros a ensayar para cumplir con el propósito de la investigación.	Asesoría del tribunal y tutor de tesis.	Método estadístico.	Gráficas, curvas y tablas de resultados.
Costo de materiales.	Solicitar el costo de fibras y de agregados a utilizar en la mezcla de hormigón.	Proveedores.	Entrevista abierta.	Tabla comparativa.

Fuente: (Pilicita & Puluche, 2022)

- **Variable Dependiente**

Tabla 12

Operacionalización de la variable dependiente

Dimensión	Conceptualización	Indicadores	Técnicas	Instrumentos
Comportamiento del módulo de rotura del concreto reforzado con fibra de abacá.	Determinar el módulo de rotura mediante ensayos en laboratorio de la Universidad Nacional de Chimborazo.	Procesamiento de datos para interpretar los resultados.	Análisis del módulo de rotura mediante métodos de cálculos estadísticos.	• Hojas de cálculo. • NTE INEN – 2554: 2011. • Norma ASTM C293 – 02.

Fuente: (Pilicita & Puluche, 2022)

3.4. Procedimientos

3.4.1. Ensayos para caracterizar las propiedades físicas de la fibra de abacá

1) Densidad Específica.
2) Densidad lineal.
3) Porcentaje de absorción.

3.4.2. Ensayos para caracterizar las propiedades físicas de los agregados finos y gruesos.

1) Granulometría.
2) Peso unitario suelto.
3) Peso unitario compactado.
4) Contenido de humedad.
5) Masa unitaria compactada de la mezcla.
6) Densidad real y capacidad de absorción.
7) Abrasión.
8) Impurezas orgánicas – Colorimetría.
9) Contenido de terrones de arcilla y partículas deleznables.
10) Determinación de la cantidad de material que pasa el tamiz de 75 μm (No. 200) en los agregados pétreos mediante lavado.

3.4.3. Ensayos para caracterizar las propiedades físicas del cemento

1) Densidad real

3.4.4. Ensayo a flexión en vigas con cargas en los tercios.

3.4.5. Ensayo a compresión.

3.4.6. Ensayo a tracción por compresión diametral.

3.5. Procesamiento y análisis.

El desarrollo de esta investigación fue mediante la realización de ensayos en laboratorio, con el fin de determinar la resistencia a la flexión de un pavimento rígido con adición de fibras de abacá, para lo cual se partió de la caracterización de la fibra y los agregados para asegurar que el material seleccionado se encuentra en las condiciones óptimas y a su vez determinar una dosificación óptima que permita llegar a la resistencia requerida en el proyecto.

3.5.1. Materiales

a. Fibras de abacá.

Las fibras de abacá utilizadas en la presente investigación se obtuvieron de pequeños productores del sector de Santo Domingo de los Tsáchilas, ubicados en la vía a Quevedo km 30 y en la vía a umpe chico, las fibras de abacá vienen en atados de aproximadamente 12 cm de diámetro y 2.5 m de largo promedio tal como se lo observa a continuación:

Figura 12

Presentación de la fibra de abacá

Fuente: (Pilicita & Puluche, 2022)

Juárez (2002), en su investigación incorporó varias longitudes de fibra en el concreto, donde determinó que las medidas óptimas están entre 2 y 3 cm, ya que si son de mayor tamaño se pierde trabajabilidad en la mezcla. Por otra parte, entre los porcentajes ocupados de fibra fueron: 0.50, 1.00, 1.50 y 2.00% basándose en el volumen total de la muestra, dando como resultado óptimo en 0.50%, y a partir de este porcentaje el módulo de rotura disminuyó.

Briseño (2016), en su trabajo de investigación realizó vigas con la inclusión de fibras ubicándolas de forma dispersa y longitudinal, con la finalidad de saber cuál daba mejores resultados de las propiedades mecánicas del hormigón.

Con lo mencionado anteriormente se decidió trabajar para la presente investigación con longitudes de fibra de 3 cm para las muestras con fibra dispersa como se lo observa en la **Figura *13***. Por otro lado, para las fibras longitudinales se trabajó con longitudes de 48 cm, debido a que los moldes son de 53 cm de largo y se dejó un recubrimiento de 2.5 cm en cada uno de los lados del molde, con la finalidad de asimilar un recubrimiento y evitar el contacto directo con la base granular como se lo puede observar en el ***Anexo 1***.

Figura 13

Procesamiento de la fibra - longitud de 3 cm

Fuente: (Pilicita & Puluche, 2022)

b. Agregados.

- **Agregado grueso**

El agregado grueso se obtuvo de la mina de "Cerro Negro" ubicada en la ciudad de Riobamba, provincia de Chimborazo, empleado en pavimentos asfálticos y rígidos, debido a que ofrece buenas propiedades.

Figura 14

Agregado grueso de la mina de "Cerro Negro"

Fuente: (Pilicita & Puluche, 2022)

- **Agregado fino**

El agregado fino se lo obtuvo de hormigones Moreno ubicada en la ciudad de Riobamba, la misma que tiene su origen de extracción de la mina "La Guadalupe" en el cantón Chambo, Provincia de Chimborazo, se usó el material de hormigones Moreno y no directamente de la mina "La Guadalupe" debido a que el material extraído posee altas cantidades de materia orgánica y antes de ser usada se requiere de lavado, el mismo que hormigones Moreno ya ofrece previo a su venta y de esta manera se tiene un material limpio de impurezas y de mejor calidad.

Figura 15

Agregado fino de Hormigones Moreno – Mina "La Guadalupe"

Fuente: (Pilicita & Puluche, 2022)

c. Cemento.

Se usó cemento Chimborazo del tipo GU, este es un cemento hidráulico de uso general que cumple rigurosamente los requisitos de la norma INEN 2380.

d. Agua.

El agua que fue empleada para la mezcla de hormigón es proveniente de la ciudad de Riobamba a través de la red de distribución de San Martín de Veranillo, según EP-EMAPAR, a través de ensayos de calidad del agua potable determinó que esta red de distribución cumple con los requisitos permisibles de la norma NTE INEN 1108.

e. Acelerante (Sika-3).

Para acelerar el fraguado del hormigón hidráulico se colocó aditivo denominado "Sika-3", con una dosificación 1:4 correspondiente a una porción de "Sika-3" y 4 porciones de agua, misma que se encuentra dentro de los valores recomendados por el fabricante (entre 1:3 y 1:10).

Figura 16

Sika-3 (Dosificación 1:4)

Fuente: (Pilicita & Puluche, 2022)

f. Parafina Sólida.

Juárez (2002) explica en su trabajo de investigación los tipos de tratamiento que utilizó para proteger a la fibra de lechuguilla de la alta alcalinidad del concreto, entre los cuales destacan: Aceite de linaza, Creosota, Estearato de Sodio, Hidróxido de sodio, Sulfato de sodio, Silicato de Sodio, Parafina y Sellador de madera.

Para probar la efectividad de los tratamientos antes mencionados, ensayó muestas de concreto con adición de fibra con un tiempo de curado de un año, donde pudo concluir que el tratamiento óptimo es con el uso de parafina, ya que brinda una mejor adherencia entre la fibra y la mezcla, y a su vez mejora las propiedades mecánicas del hormigón sin perder resistencia en el tiempo. Los tratamientos químicos no los recomienda debido a que son más costosos y le quitan adherencia a la fibra conllevando a tener resultados más desfavorables en la resistencia del hormigón.

Con lo mencionado anteriormente se realizó el tratamiento de la fibra de abacá con parafina sólida, la cual con la ayuda de un recipiente se colocó poco a poco trozos de parafina a una temperatura de 100 °C, con la finalidad de que se vuelva líquida, una vez derretida se fue agregando poco a poco la fibra y se dejó por aproximadamente 15 minutos sumergida para que esta absorba completamente el líquido para su protección.

Figura *17*

Presentación de la parafina solida Semirrefinada

Fuente: (Pilicita & Puluche, 2022)

Figura 18

Inmersión de la fibra de abacá en la parafina

Fuente: (Pilicita & Puluche, 2022)

Una vez tratada la fibra se nota la presencia de grumos de parafina que dificulta su dispersión y trabajabilidad.

Jadán, R (2013), recomienda llevar las fibras al horno a una temperatura de 100 – 110°C por 15 minutos para eliminar los grumos y mejorar su dispersión.

Para el presente estudio, debido a la disponibilidad del laboratorio no se pudo realizar este proceso de eliminación de grumos, para lo cual, se optó por un método manual en el que por medio de fricción con las manos se fue deshaciendo los grumos poco a poco debido a que la cantidad de fibra era poca.

Figura 19

Eliminación de grumos de cera

Fuente: (Pilicita & Puluche, 2022)

Con la finalidad de evitar que la fibra absorba agua de la mezcla de hormigón y altere la dosificación se llevó la fibra a un proceso de saturado por 24 horas, para posterior retirarlo y dejarlo secar superficialmente.

Figura 20

Proceso de saturado de la fibra por 24 horas

Fuente: (Pilicita & Puluche, 2022)

Figura 21

Secado superficial de la fibra de abacá tratada con parafina

Fuente: (Pilicita & Puluche, 2022)

3.5.2. Caracterización de la fibra de abacá

3.5.2.1. Densidad específica

Norma: (NTE INEN 2 527, 2010) y (ASTM-D792, 2008)

Procedimiento:

1) Se preparó la muestra de fibra de tal manera que el diámetro de la madeja este en 25 mm y con un peso entre 0.5 y 1 gramo.

2) Luego se sumergió en agua por 24 horas y se pesó en la balanza con aproximación de 0.01 g.

3) Se armó la estructura de tal manera que forme un pequeño puente que soporte al vaso de precipitación de 250 ml y la canastilla para la fibra.

4) Se llenó el vaso de precipitación hasta 200 ml de agua destilada y se colgó la canastilla evitando que no toque las paredes del vaso de precipitación, se pesó y registró este dato en la balanza con aproximación de 0.01 g.

5) Luego se introdujo la madeja de fibra dentro de la canastilla y con la ayuda de la varilla de agitación se eliminó el exceso de aire incluido.

6) Se pesó y registró este nuevo peso, luego de estar por 20 minutos sumergido con volumen de agua y se procedió con los cálculos pertinentes.

Fórmulas por utilizar:

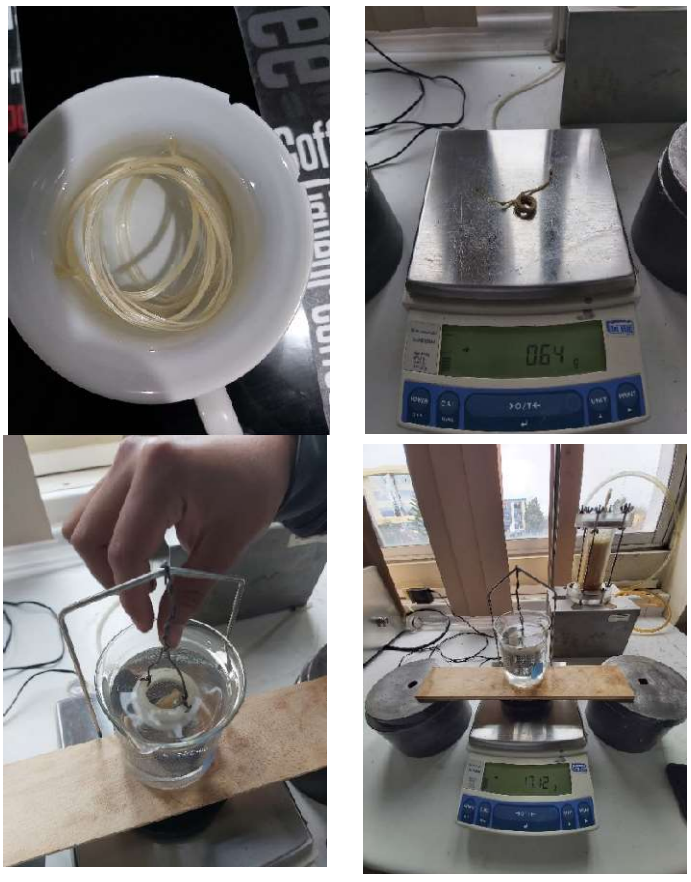
Donde:

$$P_f = \frac{D * P_l}{D + H - (W + H)}$$

P_f: Densidad aparente de la fibra, en kg/m^3.
P_l: Densidad del líquido, en kg/m^3.
D: Peso del espécimen acondicionado, en gramos.
H: Peso sumergido de la canastilla, en gramos.
(W+H): Peso sumergido de la canastilla y el espécimen, en gramos.

Figura 22

Ensayo de densidad específica de la fibra de abacá



Fuente: (Pilicita & Puluche, 2022)

3.5.2.2. Densidad lineal

Norma: (ISO:1889, 2009)

Procedimiento

1) Se tomó de los atados de fibra de abacá 5 hilos de diferentes partes y se los cortó a una longitud de 1.5 m.

2) Luego se comprobó que todas las muestras tengan la misma longitud.

3) Se realizó de cada hilo un royo de tal manera que pueda entrar en la balanza y se pesó cada una de las muestras.

4) Estos datos se los llevó a la hoja de cálculo de Excel y fueron transformados a la unidad de medida Tex (g/km).

Fórmulas por utilizar:

$$\boldsymbol{Densidad\ lineal} = \frac{Peso\ (gr)}{Longitud\ (km)}$$

Figura 23

Ensayo de densidad línea de la fibra de abacá

Fuente: (Pilicita & Puluche, 2022)

3.5.2.3. Porcentaje de absorción

Norma: (ISO:3344, 1997)

Procedimiento

1) Se tomó muestras de los atados de fibras y se los corto en trozos de 5 cm.
2) Luego se los llevó al horno a una temperatura de 50 °C por 24 horas tal y como lo establece la norma.
3) Luego de 24 horas se retiró las muestras y se las pesó en una balanza analítica de alta precisión de 0.0001 gramos.
4) Luego se tomó las muestras y se las sumergió en agua por 24 horas.
5) Luego de este tiempo se retiró el agua y se pasó un papel absorbente para retirar el agua superficial de tal manera de obtener la condición saturado superficialmente seco.
6) Finalmente se llevó las muestras a la balanza de alta precisión y se las pesó y se procedió con los cálculos.

Fórmulas por utilizar:

Donde: $$\%\boldsymbol{Absorción} = 100 * \frac{Peso\ SSS - Peso\ seco}{Peso\ seco}$$

Peso SSS: Peso de la muestra saturada superficialmente seca.
%Absorción: Porcentaje de absorción de la fibra.

Figura 24

Ensayo de porcentaje de absorción de la fibra de abacá

Fuente: (Pilicita & Puluche, 2022)

3.5.3. Caracterización de los agregados finos y gruesos

3.5.3.1. Granulometría

Norma: (NTE INEN 872, 2011) y (NTE INEN 696, 2011)

Procedimiento agregado fino:

1) Se tomó una muestra representativa de 5 kg, la misma que se lavó para que esté libre de impurezas.

2) Con la ayuda de la estufa se secó y con la ayuda de la balanza digital se pesó.

3) Luego se procedió a organizar los tamices en el siguiente orden: 3/8", #4, #8, #16, #30, #50 y #100.

4) Después se procedió a pesar cada uno de los tamices.

5) Luego se agregó el agregado fino en los tamices y se lo llevó a la tamizadora por 15 min.

6) Se llevó los tamices a la balanza digital y se fue pesando tamiz por tamiz con el árido retenido y se lo fue colocando en una cacerola.

7) Por último, se pesó todo el árido retenido para comprobar que es la misma cantidad con la que se inició el ensayo.

Fórmulas para el cálculo:

$$\boldsymbol{Peso\ relativo\ parcial} = Peso\ retenido\ del\ tamiz - Peso\ retenido\ del\ tamiz\ anterior$$

$$\boldsymbol{Porcentaje\ retenido} = \frac{Peso\ relativo\ parcial * 100}{Peso\ total\ de\ la\ muestra}$$

$$\%\ \boldsymbol{que\ pasa} = 100 - Porcentaje\ retenido\ acumulado\ en\ cada\ tamiz$$

$$\boldsymbol{MF} = \frac{\sum \%ret.\ acumulado\ en\ los\ tamícez(3/8", \#4, \#8, \#16, \#30, \#50, \#100)}{100}$$

$$\boldsymbol{Cu} = \frac{D_{60}}{D_{10}} > 4 \qquad \boldsymbol{Cc} = \frac{{D_{30}}^2}{D_{10} * D_{60}} < 1$$

Donde:

MF= Módulo de finura

Cu= Coeficiente de uniformidad

Cc= Coeficiente de curvatura

Figura 25

Ensayo de granulometría del agregado fino

Fuente: (Pilicita & Puluche, 2022)

Procedimiento agregado grueso

Norma: (NTE INEN 872, 2011) y (NTE INEN 696, 2011)

1) Se tomó una muestra representativa de 10 kg en función del tamaño nominal máximo como se muestra en la **Tabla *13***, la misma que se lavó para que esté libre de impurezas.

Tabla 13

Tamaño de la muestra para ensayo del árido grueso

Tamaño nominal máximo, abertura cuadrada Tamiz (NTE INEN 154)	Tamaño de la muestra del ensayo mínimo (kg)
9,5 mm	1
12,5 mm	2
19,0 mm	5
25,0 mm	10
37,5 mm	15
50 mm	20
63 mm	35
75 mm	60
90 mm	100
100 mm	150
125 mm	300

Fuente: (NTE INEN 696, 2011)

2) Con la ayuda de la estufa se secó y luego se pesó en la balanza digital.

3) Luego se procedió a organizar los tamices en el siguiente orden: 2”, 1 ½”, 3/4”, 3/8”, # 4.

4) Después se procedió a pesar cada uno de los tamices.

5) Se agregó el agregado grueso en los tamices y se lo llevo a la tamizadora por 15 minutos.

6) Luego se llevó los tamices a la balanza digital y se fue pesando tamiz por tamiz con el árido retenido y se lo fue colocando en una cacerola.
7) Por último, se pesó todo el árido retenido para comprobar que es la misma cantidad con la que se inició el ensayo.

Fórmulas para el cálculo:

$$\textbf{Peso relativo parcial} = Peso\ retenido\ del\ tamiz - Peso\ retenido\ del\ tamiz\ anterior$$

$$\textbf{Porcentaje retenido} = \frac{Peso\ relativo\ parcial * 100}{Peso\ total\ de\ la\ muestra}$$

$$\%\ \textbf{que pasa} = 100 - Porcentaje\ retenido\ acumulado\ en\ cada\ tamiz$$

$$\textbf{MF} = \frac{\sum \%ret.\ acumulado\ en\ los\ tamícez(3",\ 1\ 1/2",3/4",3/8",\ \#4,\ \#8,\ \#16,\ \#30,\ \#50,\ \#100)}{100}$$

$$\textbf{Cu} = \frac{D_{60}}{D_{10}} > 4 \qquad \textbf{Cc} = \frac{{D_{30}}^2}{D_{10} * D_{60}} < 1$$

Donde:

MF= Módulo de finura
Cu= Coeficiente de uniformidad
Cc= Coeficiente de curvatura

Figura 26

Ensayo de granulometría del agregado grueso

Fuente: (Pilicita & Puluche, 2022)

3.5.3.2. Peso unitario suelto

Norma: (ASTM-C29, 1997)

Procedimiento agregado fino

Calibración:

1) Se pesó el molde cilíndrico vacío.

2) Luego se agregó agua hasta llenar el recipiente.

3) Se colocó la placa de vidrio en la parte superior y con una jeringa se agregó agua hasta que esté completamente lleno.

4) Se pesó el molde con agua sin la placa de vidrio.

Proceso para el ensayo:

1) Se pesó el molde cilíndrico en una balanza con exactitud de 0.1%.

2) Se colocó la arena gruesa en una bandeja cuadrada, para luego vaciarla en el molde.

3) Luego se llenó el recipiente en forma helicoidal a una altura no mayor a 5 cm.

4) Con la varilla de acero se enraso y quitó el exceso de arena.

5) Luego se nivelo.

6) Finalmente se pesó el molde con el agregado.

Fórmulas para el cálculo:

$$\boldsymbol{PA} = PT - PM \qquad\qquad \boldsymbol{PU} = \frac{PA}{VM}$$

Donde:

PA: Peso del Agregado

PT: Peso del molde + agregado

PM: Peso del molde

VM: Volumen del molde

PU: Peso unitario del agregado

Figura 27

Ensayo de peso unitario suelto de agregado fino

Fuente: (Pilicita & Puluche, 2022)

Procedimiento agregado Grueso

Calibración:

1) Se pesó el molde cilíndrico vacío.
2) Luego se agregó agua hasta llenar el recipiente.
3) Se colocó la placa de vidrio en la parte superior y con una jeringa se agregó agua hasta que esté completamente lleno.
4) Se pesó el molde con agua sin la placa de vidrio.

Proceso para el ensayo:

1) Se pesó el molde cilíndrico en una balanza con exactitud de 0.1%.
2) Se colocó la piedra chancada en una bandeja cuadrada, para luego vaciarla en el molde.
3) Luego se llenó el recipiente en forma helicoidal a una altura no mayor a 5 cm de la superficie del recipiente hasta que esté totalmente lleno.
4) Con la varilla de acero se enraso y quitó el exceso de piedra.
5) Se pesó el molde cilíndrico con la arena.

Fórmulas para el cálculo:

$$\boldsymbol{PA} = PT - PM \qquad\qquad \boldsymbol{PU} = \frac{PA}{VM}$$

Donde:

PA: Peso del Agregado
PT: Peso del molde + agregado
PM: Peso del molde
VM: Volumen del molde
PU: Peso unitario del agregado

Figura 28

Ensayo de peso unitario suelto de agregado grueso

Fuente: (Pilicita & Puluche, 2022)

3.5.3.3. Peso unitario compactado.

Norma: (ASTM-C29, 1997)

Procedimiento agregado fino

Calibración:

1) Se pesó el molde cilíndrico vacío.
2) Luego se agregó agua hasta llenar el recipiente.
3) Se colocó la placa de vidrio en la parte superior y con una jeringa se agregó agua hasta que esté completamente lleno.
4) Se pesó el molde con agua sin la placa de vidrio.

Proceso para el ensayo:

1) Se pesó el molde cilíndrico en una balanza con exactitud de 0.1%.
2) Se colocó la arena gruesa en una bandeja cuadrada, para luego vaciarla en el molde.
3) Se colocó la arena en el molde hasta 1/3 de su capacidad, luego con una varilla de diámetro 5/8", y se golpeó 25 veces en forma helicoidal.
4) Luego se agregó la arena hasta llenar el recipiente o un poco más de su capacidad y se compactó con 25 golpes.
5) Luego se enraso y niveló.
6) Se pesó el molde con el agregado.

Fórmulas para el cálculo:

$$\boldsymbol{PA} = PT - PM \qquad\qquad \boldsymbol{PU} = \frac{PA}{VM}$$

Donde:

PA: Peso del Agregado
PT: Peso del molde + agregado
PM: Peso del molde
VM: Volumen del molde
PU: Peso unitario del agregado

Figura 29

Ensayo de peso unitario compactado de agregado fino

Fuente: (Pilicita & Puluche, 2022)

Procedimiento agregado Grueso

Calibración:

1) Se pesó el molde cilíndrico vacío.
2) Se agregó agua hasta llenar el recipiente.
3) Se colocó la placa de vidrio en la parte superior y con una jeringa se agregó agua hasta que esté completamente lleno.
4) Se pesó el molde con agua sin la placa de vidrio.

Proceso para el ensayo:

1) Se pesó el molde cilíndrico en una balanza con exactitud de 0.1%.
2) Se colocó la piedra chancada en una bandeja cuadrada, para luego vaciarla en el molde.
3) Se colocó la piedra al molde hasta 1/3 de su capacidad, luego con una varilla de diámetro 5/8", se golpeó 25 veces en forma helicoidal.
4) Luego se colocó otra capa hasta los 2/3 de su altura y se compactó nuevamente con 25 golpes.
5) Luego se agregó la piedra hasta llenar el recipiente o un poco más de su capacidad y se compactó con 25 golpes.
6) Luego se enraso y niveló.
7) Finalmente se pesó el molde con el agregado grueso.

Fórmulas para el cálculo:

$$\boldsymbol{PA} = PT - PM \qquad\qquad \boldsymbol{PU} = \frac{PA}{VM}$$

Dónde:

PA: Peso del Agregado
PT: Peso del molde + agregado
PM: Peso del molde
VM: Volumen del molde

PU: Peso unitario del agregado

Figura 30

Peso unitario compactado del agregado grueso

Fuente: (Pilicita & Puluche, 2022)

3.5.3.4. Contenido de humedad.

Norma: (NTE INEN 862, 2011)

Procedimiento agregado fino y grueso

1) Se tomó una cantidad representativa de masa en función del tamaño nominal del agregado como se puede ver en la **Tabla *14***.

Tabla 14

Tamaño de la muestra del árido

Tamaño máximo nominal del árido Tamiz (NTE INEN 154)	Masa de la muestra de áridos de densidad normal, mínimo (kg)
4,75 mm	0,5
9,5 mm	1,5
12,5 mm	2
19,0 mm	3
25,0 mm	4
37,5 mm	6
50 mm	8
63 mm	10
75 mm	13
90 mm	16
100 mm	25
150 mm	50

Fuente: (NTE INEN 862, 2011)

2) Se pesó evitando la perdida de humedad.
3) Se colocó la muestra en una bandeja y se la llevó al horno por 24hrs a una temperatura de 110 ± 5 °C.
4) Pasado el tiempo se sacó del horno y se dejó enfriar por 1 Hora.
5) Finalmente se pesó la masa seca del agregado.

Fórmulas para el cálculo:

$$\boldsymbol{P} = \frac{W - D}{D} * 100$$

Donde:

P= Contenido de humedad (%)
W= Masa inicial de la muestra (g)
D= Masa de la muestra seca (g)

Figura 31

Ensayo del contenido de humedad del agregado fino y grueso

Fuente: (Pilicita & Puluche, 2022)

3.5.3.5. Masa unitaria compactada de la mezcla

Agregado Grueso y fino

Norma: (NTE INEN 858, 2010)
Equipos:
1) Balanza.
2) Varilla de compactación.
3) Molde cilíndrico.
4) Pala o cucharón.
Procedimiento:

1) En primer lugar, se tomó la muestra de los agregados, contemplando que se encuentre entre un 125% a 200% con respecto a la cantidad necesaria para llenar el molde.
2) Posteriormente, se llenó aproximadamente la tercera parte del molde, se niveló con los dedos y se compactó con 25 golpes de la varilla sobre toda la superficie del agregado, luego se llenó los dos tercios del molde cilíndrico y se volvió a compactar, finalmente se llenó completamente y se compactó nuevamente. Con la ayuda de una regleta se niveló la superficie con el fin de que el agregado quede por debajo de la superficie del molde.
3) Se consideró para la primera capa golpes suaves, mismo que no golpeen la base del molde, y para las siguientes capas se consideró que el golpe no penetre la capa ya compactada.
4) Finalmente, se determinó la masa del molde y la masa del molde con el agregado en su interior, mediante el uso de una balanza.

Fórmulas para el cálculo:

$$\boldsymbol{M} = \frac{G - T}{V}$$

Donde:

M= Masa unitaria o peso volumétrico de la mezcla, (kg/m^3).
G= Masa de la mezcla más el molde, (kg).
T= Masa del molde cilíndrico, (kg).
V= Volumen del molde, (m^3).

Figura 32

Ensayo de masa unitaria compactada de la mezcla

Fuente: (Pilicita & Puluche, 2022)

3.5.3.6. Densidad real y capacidad de absorción

Agregado Grueso

Norma: (NTE INEN 857, 2010) y (ASTM-C127, 2015)

Equipos:

1) Balanza.
2) Recipiente para la muestra.
3) Tanque de agua.
4) Horno.
5) Tamiz # 4

Procedimiento:

1) Se eliminó el material que paso el tamiz # 4 y se procedió a lavar el material.
2) Seguidamente, se sumergió el agregado en agua a temperatura ambiente, durante 24 horas.
3) Se retiró el agregado del agua y se lo seco superficialmente con un paño absorbente, secando las partículas grandes individualmente, posteriormente se determinó la masa de la muestra en condición superficialmente seca.
4) Después de calcular la masa en aire del agregado, se colocó inmediatamente el agregado secado superficialmente en la canastilla y se sumergió, verificando que todo el aire atrapado sea removido mediante la agitación del recipiente.
5) Finalmente, se secó la muestra en el horno a una temperatura de 110 °C y se determinó su masa mediante una balanza.

Fórmulas para el cálculo:

- **Densidad real agregado grueso.**

Esta fórmula corresponde a una muestra de ripio triturado que se encuentra en condición superficialmente seca.

$$\boldsymbol{Densidad\ (SSS)} = \frac{B}{B - C}$$

Donde:

B= Masa de la muestra saturada superficialmente seca, (g).

C= Masa de la muestra saturada sumergida en agua, (g).

Nota: Para que las unidades de la densidad se expresen en g/cm^3, se multiplica su valor por la densidad del agua a 23 °C que es igual a 1 g/cm$^{3.}$

- **Capacidad de absorción agregado grueso.**

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

Donde:

B= Masa muestra saturada superficialmente seca, (g).

A=Masa muestra secada en horno, (g).

Figura 33

Ensayo de densidad real y capacidad de absorción del agregado grueso

Fuente: (Pilicita & Puluche, 2022)

Agregado Fino

Norma: (NTE INEN 856, 2010) y (ASTM-C128, 2001)

Equipos:

1) Balanza.
2) Picnómetro.
3) Cono y pisón estandarizado para ensayo de humedad superficial.
4) Horno.

Procedimiento:

1) Se tomó aproximadamente 1 kg de agregado fino y se le añadió agua hasta alcanzar al menos 6% de humedad.
2) Posteriormente, se decantó el agua evitando perder material, luego se la colocó en una bandeja plana y se la ubicó sobre una corriente cálida de aire con el fin de secarla superficialmente.
3) Con el fin de comprobar si el agregado se encontraba superficialmente seco, se realizó el ensayo de humedad superficial que consiste en mantener un molde en forma de cono sobre una superficie lisa y se va colocando el agregado fino hasta llenarlo, luego se debe compactar con 25 golpes ligeros, cada caída debe iniciar a 5 mm sobre la muestra aproximadamente, luego se levanta el molde y si mantiene la forma del molde, significa que aún no está superficialmente seco, por el contrario si se desmorona ligeramente se ha alcanzado el estado superficialmente seco.
4) Cumplido el paso 3 se llenó parcialmente el picnómetro con agua, luego se introdujo 500 g de agregado fino superficialmente seco y se llenó con agua hasta el 90% de su capacidad, después se rodó y agito el picnómetro con el fin de eliminar burbujas de aire.
5) Se calculó la masa del picnómetro, agregado fino y agua.
6) Luego se retiró el agregado fino del picnómetro, se lo seco en el horno y se determinó su masa.
7) Finalmente, llenar el picnómetro hasta la marca de calibración y determinar su masa.

Fórmulas para el cálculo:

- **Densidad real agregado fino.**

Esta fórmula corresponde a una muestra de arena que se encuentra en condición superficialmente seca.

$$\boldsymbol{Densidad(SSS)} = \frac{S}{(B + S - C)}$$

Donde:

S= Masa muestra saturada superficialmente seca, (g).

B= Masa del picnómetro lleno con agua hasta la marca de referencia, (g).

C= Masa del picnómetro lleno con agua y agregado fino hasta la marca de referencia, (g).

Nota: Para que las unidades de la densidad se expresen en g/cm^3, se multiplica su valor por la densidad del agua a 23° C que es igual a 1 g/cm$^{3.}$

- **Capacidad de absorción agregado fino.**

$$\boldsymbol{Absorción}, \% = \frac{S - A}{A} * 100$$

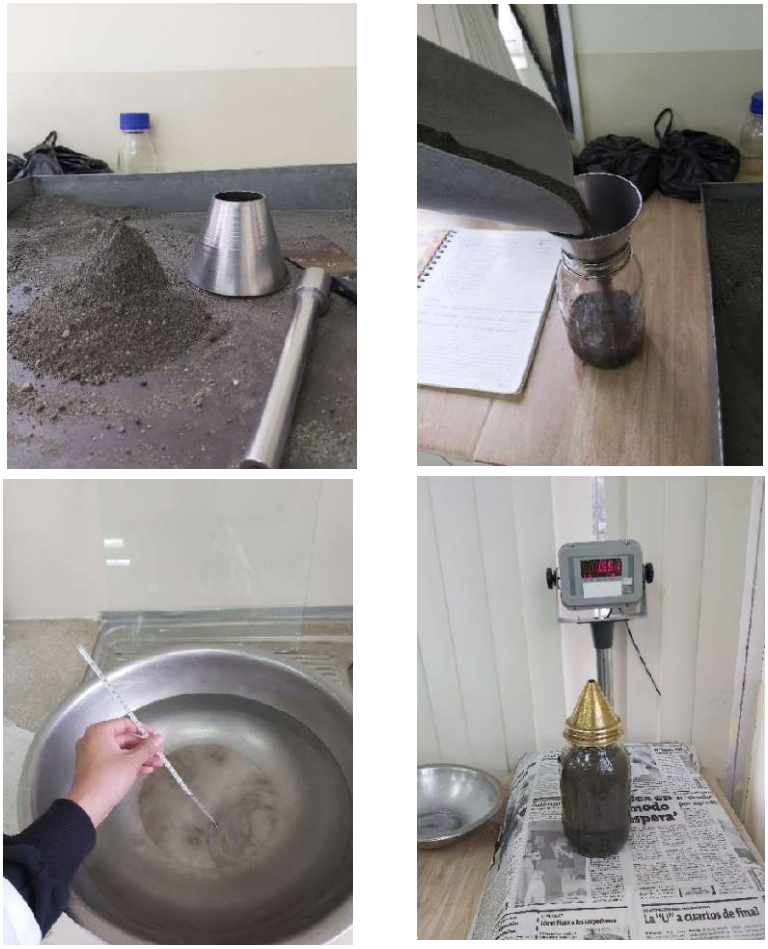
Donde:

S= Masa muestra saturada superficialmente seca, (g).

A= Masa del agregado fino secado al horno, (g).

Figura 34

Ensayo de densidad real y capacidad de absorción del agregado fino



Fuente: (Pilicita & Puluche, 2022)

3.5.3.6.Abrasión

Norma: (ASTM-C131, 2001)

Equipos y materiales:

1) Maquina los ángeles.
2) Tamices (1 1/2", 1", 3/4", 1/2", 3/8").
3) Esferas de acero de masa entre 390 y 445 g.
4) Charolas o bandejas.
5) Balanza de aproximación de 0.01 g de precisión.
6) Horno a temperatura constante de 110 ± 5 °C.
7) Cucharón metálico.

Procedimiento:

1) Se obtuvo una muestra representativa de acuerdo con el tipo de granulometría con la que se vaya a trabajar como lo establece la norma ASTM C 131-01.
2) Luego se procedió a lavar el material y a secarlo en el horno a temperatura constante por 24 horas.
3) Después se armó los tamices, pero solo se ocupó los de 1" y 3/4", se agregó el material y se tamizó por un 1 minuto.
4) Luego se llevó el material retenido en el tamiz de 1" a una bandeja y se pesó, este peso debe estar entre 1250 ± 25 gramos.
5) Este procedimiento se realizó con los demás tamices, de tal manera que se retenga 1250 ± 25 gramos en los tamices de 3/4", 1/2" y 3/8" y la sumatoria debe dar 5000 ± 10 gramos como lo establece la **Tabla *15*** de la norma ASTM C 131-01.

Tabla 15

Granulometría de las muestras de ensayo

Tamaño del tamiz (Aberturas cuadradas)		Masa de los tamaños indicados, g			
		Granulometría			
Pasa	Retenido	A	B	C	D
37,5mm (1 1/2”)	25,0mm (1”)	1.250 ± 25	---	---	---
25,0mm (1”)	19,0mm (3/4”)	1.250 ± 25	---	---	---
19,0mm (3/4”)	12,5mm (1/2”)	1.250 ± 10	2.500 ± 10	---	---
12,5mm (1/2”)	9,5mm(3/8”)	1.250 ± 10	2.500 ± 10	---	---
9,5mm(3/8”)	6,3mm (1/4”)	---	---	2.500 ± 10	---
6,3mm (1/4”)	4,75mm (N°4)	---	---	2.500 ± 10	---
4,75mm (N°4)	2,36mm (N°8)	---	---	---	5.000 ± 10
Total		5.000 ± 10	5.000 ± 10	5.000 ± 10	5.000 ± 10

Fuente: (ASTM C 131, 2001)

6) En la máquina de los ángeles se quitó los seguros para abrir la tapa.
7) Con la granulometría tipo A se usó 12 esferas metálicas tal como lo dice la norma y se las colocó en la base de la máquina y luego se agregó los 5 kg del agregado tamizado.

8) Se encendió la máquina y programó a 33 revoluciones por minuto durante 500 revoluciones, como lo establece la norma.

9) Una vez concluido este tiempo se retiró la bandeja con el material, se sacó las esferas metálicas y este material se lo colocó en otra bandeja.

10) Con la ayuda del tamiz #12 se agregó poco a poco todo el material, todo lo que se retuvo en dicho tamiz se lo colocó en una charola y se lo pesó.

11) Con este peso final retenido en el tamiz 12 se calculó él % de desgaste del agregado.

Fórmulas para el cálculo:

$$\%\boldsymbol{Desgaste} = \frac{100 * (Pi - Pf)}{Pf}$$

Donde:

Pi= Masa final de la muestra.

Pf= Masa final de la muestra.

% Desgaste= % de perdida de material.

Figura 35

Ensayo de abrasión en la máquina de los ángeles

Fuente: (Pilicita & Puluche, 2022)

3.5.3.7. Impurezas orgánicas – Colorimetría

Norma: (NTE INEN 855, 2010) **y** (ASTM-C40, 2011)

Equipos y materiales:

1) Balanza.
2) Probetas graduadas.
3) Solución de hidróxido de sodio.
4) Comparador de color normalizado.

Procedimiento

1) Se tomó una muestra de 450 g de agregado fino en condición seca.
2) Luego se tomó una muestra de 30 g de hidróxido de sodio y se la mezcló con 97 g de agua.
3) Luego se tomó la probeta graduada y se agregó el agregado hasta la marca de 130 cm^3.
4) Luego se añadió la solución de hidróxido de sodio disuelta en agua, hasta la marca de 200 cm^3 y se agitó por un minuto.
5) Luego se dejó por 24 horas que repose la mezcla y luego se comparó con ayuda del comparador de color normalizado el nivel de impurezas orgánicas que tiene nuestro agregado fino.

Figura 36

Ensayo de colorimetría del agregado fino

Fuente: (Pilicita & Puluche, 2022)

3.5.3.8. Contenido de terrones de arcilla y partículas deleznables

Agregado fino

Norma: (ASTM-C142, 1997)

Equipos y Materiales:

1) Tamices (No. 4, No. 16, No. 20).
2) Balanza de aproximación 0.01 g de precisión.
3) Horno a temperatura constante de 110 ±5 ºC
4) Cucharón metálico
5) Charolas o bandejas

Procedimiento

1) Se lavó la arena y se dejó secar en el horno a una temperatura constante 110 ± 5 °C por 24 horas.
2) Se tamizó y recogió 25 gramos de agregado fino que pase el tamiz N°4 y que se retenga en el tamiz N°16.
3) Se llevó el agregado fino sobre una charola, se extendió formando una capa, se añadió agua destilada y se dejó sumergido por 24 horas.
4) Luego con la ayuda del pulgar e índice se aplastó para que se rompan las partículas deleznables.
5) Luego se colocó el agregado sobre el tamiz N°20 y se lavó.
6) La masa retenida en el tamiz se la colocó en una charola y se la llevó al horno a temperatura constante de 110 ± 5°C por 24 horas.
7) Pasado el tiempo se retiró, pesó y esta es la masa seca final.

Fórmulas por utilizar:

$$\boldsymbol{P} = \frac{M - R}{M} * 100$$

Donde:

M: Masa mínima inicial seca de la muestra
P: Porcentaje de terrones de arcilla y partículas deleznables
R: Masa final seca de la muestra

Figura 37

Ensayo de contenido de terrones de arcilla y partículas deleznables en el agregado fino

Fuente: (Pilicita & Puluche, 2022)

Agregado Grueso

Norma: (ASTM-C142, 1997)

Equipos y Materiales:

1) Tamices (1 ½", ¾", 3/8", No. 4, No. 8).
2) Balanza de aproximación 0.01 g de precisión.
3) Horno a temperatura constante de 110 ±5 ºC.
4) Cucharón metálico.
5) Charolas o bandejas.

Procedimiento

1) Se lavó el árido grueso y se dejó secar en el horno a una temperatura constante 110 ± 5°C por 24 horas.
2) Se armó los tamices y se recogió 5000 gramos de agregado grueso que se retuvo en el tamiz 1 1/2", luego 3000 g que se retuvo en el tamiz 3/4", luego 2000 g que se retuvo en el tamiz 3/8" y por último 1000 g que se retuvo en el tamiz N°4.
3) Luego se llevó el agregado sobre una charola, se extendió formando una capa, se añadió agua destilada y se dejó así por 24 horas para que se absorba bien.

4) Con la ayuda del pulgar e índice se aplastó el agregado con la finalidad de romper las partículas deleznables.
5) Luego se colocó la muestra de 5000 g sobre el tamiz N°4 y se lavó, se realizó este mismo procedimiento para la muestra de 3000 y 2000 g en el tamiz N°4 y solo la muestra de 1000 g se lavó en el tamiz N°8.
6) Luego se llevó las muestras retenidas en los tamices al horno y se dejó secar por 24 horas a temperatura constante de 110 ± 5°C.
7) Finalmente, pasado este tiempo se retiró las muestras y se pesó para tener la masa final seca.

Fórmulas por utilizar:

$$\boldsymbol{P} = \frac{M - R}{M} * 100$$

Donde:

M: Masa mínima inicial seca de la muestra
P: Porcentaje de terrones de arcilla y partículas deleznables
R: Masa final seca de la muestra

Figura 38

Ensayo de contenido de terrones de arcilla y partículas deleznables del agregado grueso

Fuente: (Pilicita & Puluche, 2022)

3.5.3.9. Determinación de la cantidad de material que pasa el tamiz de 75 µm (No. 200) en los agregados pétreos mediante lavado.

Norma: (NTE INEN 697, 2010) y (ASTM-C117, 2017)

Equipos y materiales:

1) Balanza con aproximación de 0.1 g de precisión.
2) Tamices (No. 200 y No. 16).
3) Charolas.
4) Horno a temperatura constante de 110 ±5 ºC.

Procedimiento:

1) Se tomó una muestra de 300 g de arena tal y como lo establece la **Tabla *16*** tomada de la INEN 897: 2010.

Tabla 16

Masa mínima para la muestra de ensayo

Tamaño máximo nominal	Masa mínima (g)
4.75 mm (No. 4) o menor	300
Mayor que 4.75 mm (No. 4) hasta 9.5 mm	1000
Mayor que 9.5 mm hasta 19.0 mm	2500
Mayor que 19.0 mm	5000

Fuente: (NTE INEN 697, 2010)

2) Se dejó secar la muestra en el horno por 24 horas para tener una masa constante y se pesó.
3) Luego se colocó la muestra en una charola y se le añadió agua hasta cubrirla totalmente y se agitó para lavar y que las partículas livianas se suspendan.
4) Luego se vertió el agua por los tamices No. 16 y No. 200 para que se retengan las partículas.
5) Se realizó este proceso hasta que el agua vertida es de color claro sin turbiedad y el agregado retenido en los tamices se devolvió a la muestra inicial.
6) Se llevó la muestra al horno por 24 horas y se pesó y calculo el porcentaje más fino que pasa el tamiz No. 200.

Fórmulas por utilizar:

$$\boldsymbol{A} = \frac{B - C}{B} * 100$$

Donde:

A: Porcentaje del material más fino que pasa el tamiz con abertura de 75µm (No. 200) mediante lavado.
B: Masa seca original de la muestra, g.

C: Masa seca de la muestra luego del lavado, g.

Figura 39

Ensayo del Material más fino que pasa el tamiz No. 200 mediante lavado

Fuente: (Pilicita & Puluche, 2022)

3.5.4. Caracterización del cemento

3.5.4.1. Densidad real del cemento

Norma: (NTE INEN 156, 2009)

Equipos:

1) Balanza.
2) Frasco Le Chatelier.
3) Recipiente para baño de agua.
4) Horno.

Procedimiento:

1) Se tomó una muestra de cemento de 64g.
2) En el frasco de Le Chatelier se colocó gasolina hasta la parte baja del cuello entre 0 cm^3 y 1 cm^3, se secó el interior sobre el nivel del líquido y se tomó la primera medición después de sumergir el frasco en baño de agua.

3) El cemento que se pesó con anterioridad fue introducido poco a poco evitando salpicaduras, se observó que no se adhiera al interior del frasco sobre el líquido y que el cemento no se atasque en el cuello, después de introducir todo el cemento se colocó el tapón del frasco y sé lo rodó en posición inclinada para liberar el aire.

4) Finalmente, se tomó la medida después del baño de agua, con el fin de evitar variaciones entre la medida inicial y final.

Fórmulas para el cálculo:

La diferencia entre la medida inicial y final corresponde al volumen de la gasolina desplazado por la masa del cemento.

$$\boldsymbol{Densidad\ cemento, \rho} = \frac{masa\ del\ cemento,\ g}{volumen\ desplazado, cm^3}$$

Figura 40

Ensayo de la densidad del cemento Chimborazo tipo GU

Fuente: (Pilicita & Puluche, 2022)

3.5.5. Cálculo del módulo de rotura con carga aplicada en los tercios

Norma: (NTE INEN 2554, 2011) y (ASTM C78, 2018)

Equipos:

1) Maquina universal Shimadzu

Procedimiento:

1) Se tomó el ancho promedio de la viga, luego se la colocó sobre los soportes de la máquina, y se registró la luz libre entre los apoyos.

2) Se ensayo en la maquina universal, con la final de obtener la carga máxima que soporta la viga antes de la fractura.

Fórmulas por utilizar:

$$\boldsymbol{R} = \frac{PL}{b * d^2}$$

Donde:

R: Módulo de rotura, en MPa.
P: Carga máxima aplicada, en N.
L: Luz libre, en mm.
b: Promedio del ancho del espécimen, en la fractura, en mm.
d: Promedio de la altura del espécimen, en la fractura, en mm.

Figura 41

Colocación de la viga sobre los apoyos en la maquina universal

Fuente: (Pilicita & Puluche, 2022)

3.5.6. Cálculo de la resistencia a la compresión de cilindros de hormigón

Norma: (NTE INEN 1573, 2010)
Equipos:
1) Prensa Hidráulica 1780 KN

Procedimiento:

1) Se tomó las medidas de los cilindros tanto de la altura como de los diámetros, con la finalidad de comprobar que las dimensiones cumplan con las tolerancias de la normativa.
2) Se peso cada uno de los testigos.
3) Se ensayo en la prensa hidráulica, con la final de obtener la carga máxima que soporta el cilindro antes de la fractura.

Fórmulas por utilizar:

$$f'c = \frac{F}{A}$$

Donde:

f'c: Resistencia a la compresión, en MPa.
F: Carga máxima aplicada, en N.
A: Área de la sección transversal, en mm^2.

Figura 42

Medición de cilindros y ensayo para obtener la carga máxima aplicada

Fuente: (Pilicita & Puluche, 2022)

3.5.7. Cálculo de la resistencia a la tracción por compresión diametral

Norma: (NTE INEN 2648, 2013)

Equipos:

1) Prensa electrohidráulica.

Procedimiento:

1) Se tomó el diámetro y la longitud del cilindro mediante el promedio de 3 medidas.
2) Se colocó el espécimen en los acoples y posteriormente en la máquina.
3) Finalmente se aplicó carga de forma continua con la prensa electrohidráulica hasta la falla.

Fórmulas por utilizar:

$$\boldsymbol{T} = \frac{2\,P}{\pi\,l\,d}$$

Donde:

T: Resistencia a la tracción (MPa).
P: Carga máxima aplicada (N).
l: Longitud (mm).
d: Diámetro (mm).

Figura 43

Ensayo a tracción por compresión diametral

Fuente: (Pilicita & Puluche, 2022)

CAPÍTULO IV.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Como sustento de la presente investigación fue necesario llevar a cabo una serie de ensayos en laboratorio para caracterizar las propiedades físicas de la fibra de abacá y de los agregados, con la finalidad de garantizar que las mezclas de hormigón para losas de pavimentos rígido cumplan con las especificaciones que da la normativa para brindar calidad y seguridad en los proyectos de ingeniería, por la razón descrita a continuación se presenta los resultados obtenidos en laboratorio.

4.1. Resultados

4.1.1. Caracterización de la fibra de abacá

4.1.1.1. Densidad Específica

Tabla 17

Resultados de la densidad específica de la fibra de abacá

Unach UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO en movimiento	**FICHA - DENSIDAD ESPECÍFICA**	**FICHA N° 1**
	FIBRA DE ABACÁ	

Muestra Nº	**Peso del espécimen acondicionado (g)**	**Peso de la canastilla sumergida (g)**	**Peso de canastilla sumergida + espécimen (g)**	**Densidad del líquido (kg/m^3)**	**Densidad (kg/m^3)**
1	0.75	17.08	17.22		1229.51
2	0.64	17.08	17.12		1066.67
3	0.55	17.08	17.21	1000	1309.52
4	0.52	17.08	17.18		1238.10
5	0.53	17.08	17.24		1432.43
			Media (kg/m3)		1255.25
			Media (g/cm3)		1.26
			Desviación Estándar (%)		0.13
			Coeficiente de Variación (%)		10.60

Fórmulas por utilizar

$$P_f = \frac{D * P_I}{D + H - (W + H)}$$

Donde:

P_f: Densidad aparente de la fibra, en kg/m^3.

P_I: Densidad del líquido, en kg/m^3.

D: Peso del espécimen acondicionado, en gramos.

H: Peso sumergido de la canastilla, en gramos.

(W+H): Peso sumergido de la canastilla y el espécimen, en gramos.

TESISTA	**TESISTA**	**TUTOR**	**FECHA**
Cristian Pilicita	Fernando Puluche	Ing. Vladimir Pazmiño	29/03/2022

Fuente: (Pilicita & Puluche, 2022)

4.1.1.2. Densidad lineal

Tabla 18

Ensayo de densidad lineal de la fibra de abacá

Unach UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO en movimiento	**FICHA - DENSIDAD LINEAL**	**FICHA N° 2**
	FIBRA DE ABACÁ	

Muestra Nº	Peso (g)	Longitud (cm)	Densidad (g/km)
1	0.0874	150.0000	58.27
2	0.0756	150.0000	50.40
3	0.0831	150.0000	55.40
4	0.0895	150.0000	59.67
5	0.0948	150.0000	63.20
	Media (g/km)		57.39
	Desviación Estándar (%)		4.81
	Coeficiente de Variación (%)		8.38

Fórmulas por utilizar

$$\boldsymbol{Densidad\ lineal} = \frac{Peso\ (g)}{Longitud\ (km)}$$

TESISTA	TESISTA	TUTOR	FECHA
Cristian Pilicita	Fernando Puluche	Ing. Vladimir Pazmiño	23/03/2022

Fuente: (Pilicita & Puluche, 2022)

4.1.1.3. Porcentaje de absorción

Tabla 19

Resultado del porcentaje de absorción de agua de la fibra de abacá

Unach UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO en movimiento	FICHA - ABSORCIÓN DE LA FIBRA FIBRA DE ABACÁ	FICHA N° 3

Muestra Nº	Peso Seco (g)	Peso SSS (g)	% Absorción
1	0.0222	0.0384	72.97
2	0.0214	0.0364	70.09
3	0.0233	0.0402	72.53
4	0.0236	0.0400	69.49
5	0.0215	0.0370	72.09
6	0.0227	0.0392	72.69
7	0.0218	0.0373	71.10
8	0.0221	0.0358	61.99
	Media (%)		70.37
	Desviación Estándar (%)		3.6131
	Coeficiente de Variación (%)		5.1344

Fórmulas por utilizar

$$\%\boldsymbol{Absorci\acute{o}n} = \frac{Peso\ SSS - Peso\ seco}{Peso\ seco} * 100$$

Peso SSS: Peso en el área de la muestra saturada y superficialmente seca

TESISTA	TESISTA	TUTOR	FECHA
Cristian Pilicita	Fernando Puluche	Ing. Vladimir Pazmiño	23/03/2022

Fuente: (Pilicita & Puluche, 2022)

4.1.2. Caracterización de los agregados finos y gruesos

4.1.2.1. Granulometría

Tabla 20

Granulometría del agregado fino

Unach	FICHA-ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO AGREGADO FINO						Ficha N°4	
GRANULOMETRÍA-AGREGADO FINO PARA BASES DE HORMIGÓN HIDRÁULICO								
# Tamiz	**Dimensión (mm)**	**Peso Retenido Acumulado (g)**	**Relativo Parcial**	**Porcentaje Retenido**	**Porcentaje Retenido Acumulado**	**% Que Pasa**	**Límite Inferior**	**Límite Superior**
3/8"	9.5	1.12	1.12	0.02	0.02	99.97	100	100
No. 4	4.75	23.25	22.12	0.44	0.46	99.53	95	100
No. 8	2.36	473.37	450.12	9.00	9.46	90.53	80	100
No. 16	1.18	1 171.50	698.12	13.96	23.43	76.57	50	85
No. 30	0.600	2 153.62	982.12	19.64	43.07	56.92	25	60
No. 50	0.300	3 520.75	1367.12	27.34	70.41	29.58	5	30
No. 100	0.150	4 559.87	1039.12	20.78	91.19	8.80	0	10
Fuente		5 000.00	440.12	8.80	100.00	0.00		
		Peso Total	5000.00	100.00		100		

Módulo de Finura (MF) $MF = \frac{\sum \%ret.acumulado\ en\ los\ tamícez(3/8", \#4, \#8, \#16, \#30, \#50, \#100)}{100}$

MF= 2.38 **Cumple** (2.30 a 3.10) *límite obtenido de la norma ASTM C 33-03*

D10= 0.16 **D30=** 0.30 **D60=** 0.67

Coeficiente de Uniformidad (Cu)

$Cu = \frac{D_{60}}{D_{10}} > 4$

Cu= 4.27 **Cumple**

Coeficiente de Curvatura (Cc)

$Cc = \frac{{D_{30}}^2}{D_{10} * D_{60}} < 1$

Cc= 0.88 **Cumple**

Norma: NTE INEN 872, Tabla N°1

Tamaño máximo (TM)= 3/8"

Tamaño máximo nominal (TMN)= No. 4

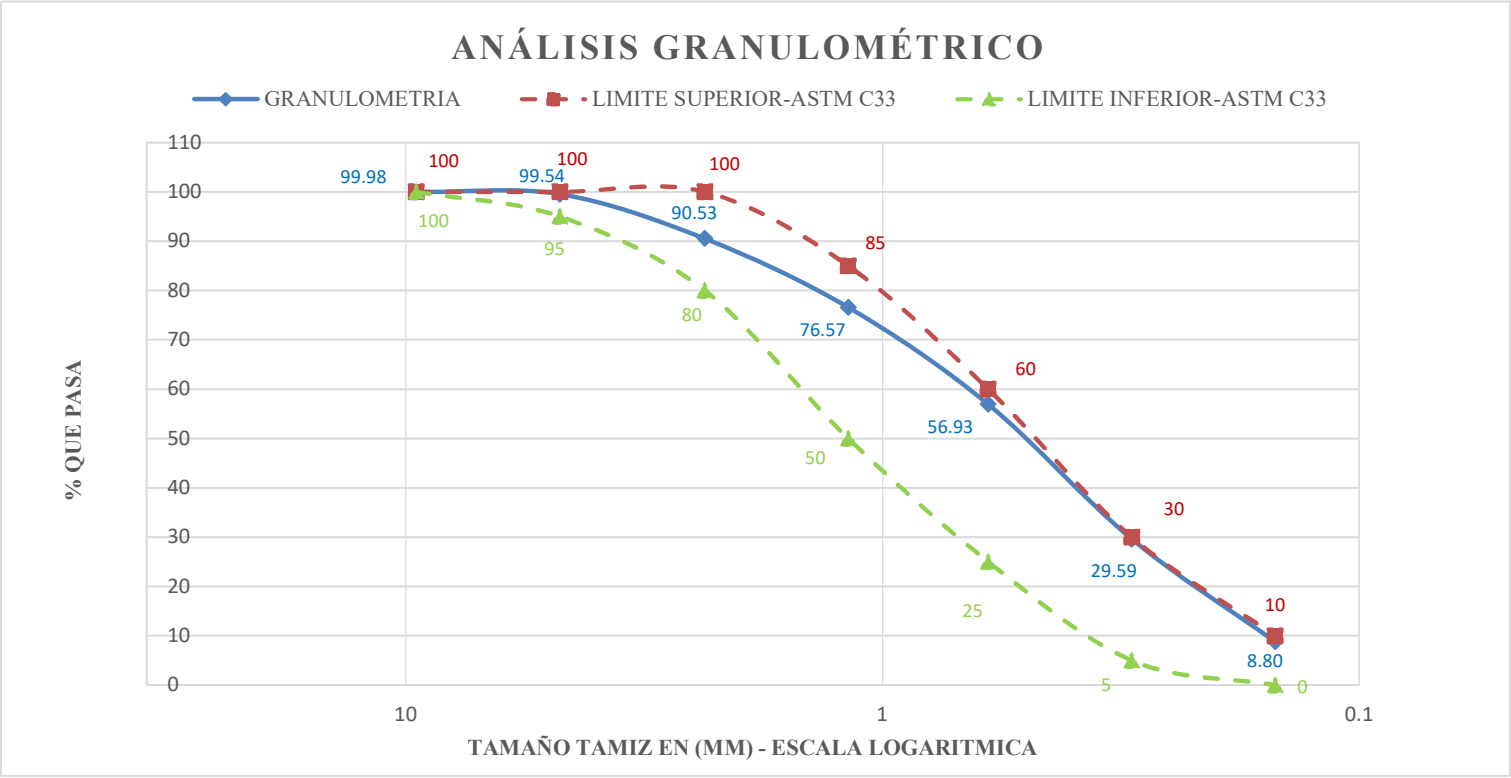
TESISTA	TESISTA	TUTOR	FECHA
Cristian Pilicita	Fernando Puluche	Ing. Vladimir Pazmiño	23/03/2022

Fuente: (Pilicita & Puluche, 2022)

Figura 44

Curva granulométrica del agregado fino

CURVA GRANULOMÉTRICA – AGREGADO FINO



Fuente: (Pilicita & Puluche, 2022)

Tabla 21

Granulometría del agregado grueso

Unach	FICHA-ANALISIS GRANULOMÉTRICO	FICHA N° 5
	AGREGADO GRUESO	

GRANULOMETRIA-AGREGADO GRUESOS PARA BASES DE HORMIGON HIDRAULICO

# Tamiz	Dimensión (mm)	Acumulado Peso Retenido (g)	Relativo Parcial	Porcentaje Retenido	Porcentaje Retenido Acumulado	% Que Pasa	Límite Inferior	Limite Superior
2"	50.00	0.50	0.50	0.01	0.01	99.99	100	100
1 1/2"	38.10	208.00	207.50	4.15	4.16	95.84	95	100
3/4"	19.00	2,757.50	2549.50	50.99	55.15	44.85	35	70
3/8"	9.50	3,770.00	1012.50	20.25	75.40	24.60	10	30
No. 4	4.00	4,993.50	1223.50	24.47	99.87	0.13	0	5
Fuente		5,000.00	6.50	0.13	100.00	0.00		
		Peso Total	5000.000	100.00		100.00		

Módulo de Finura (MF) $MF = \frac{\sum \%ret.acumulado\ en\ los\ tamícez(3",\ 1\ 1/2",3/4",3/8",\ \#4,\ \#8,\ \#16,\ \#30,\ \#50,\ \#100)}{100}$

MF= 7.31 **Cumple** *(7.30 a 8.90) Límite obtenido de la norma ASTM C33-03*

D10= 5.67 **D30=** 11.43 **D60=** 23.36

Coeficiente de Uniformidad (Cu)

$$Cu = \frac{D_{60}}{D_{10}} > 4$$

Cu= 4.12 **Cumple**

Coeficiente de Curvatura (Cc)

$$Cc = \frac{{D_{30}}^2}{D_{10} * D_{60}} < 1$$

Cc= 0.99 **Cumple**

Norma: NTE INEN 872, Tabla N°3

Tamaño máximo (TM) 2"

Tamaño máximo nominal (TMN) 1 1/2"

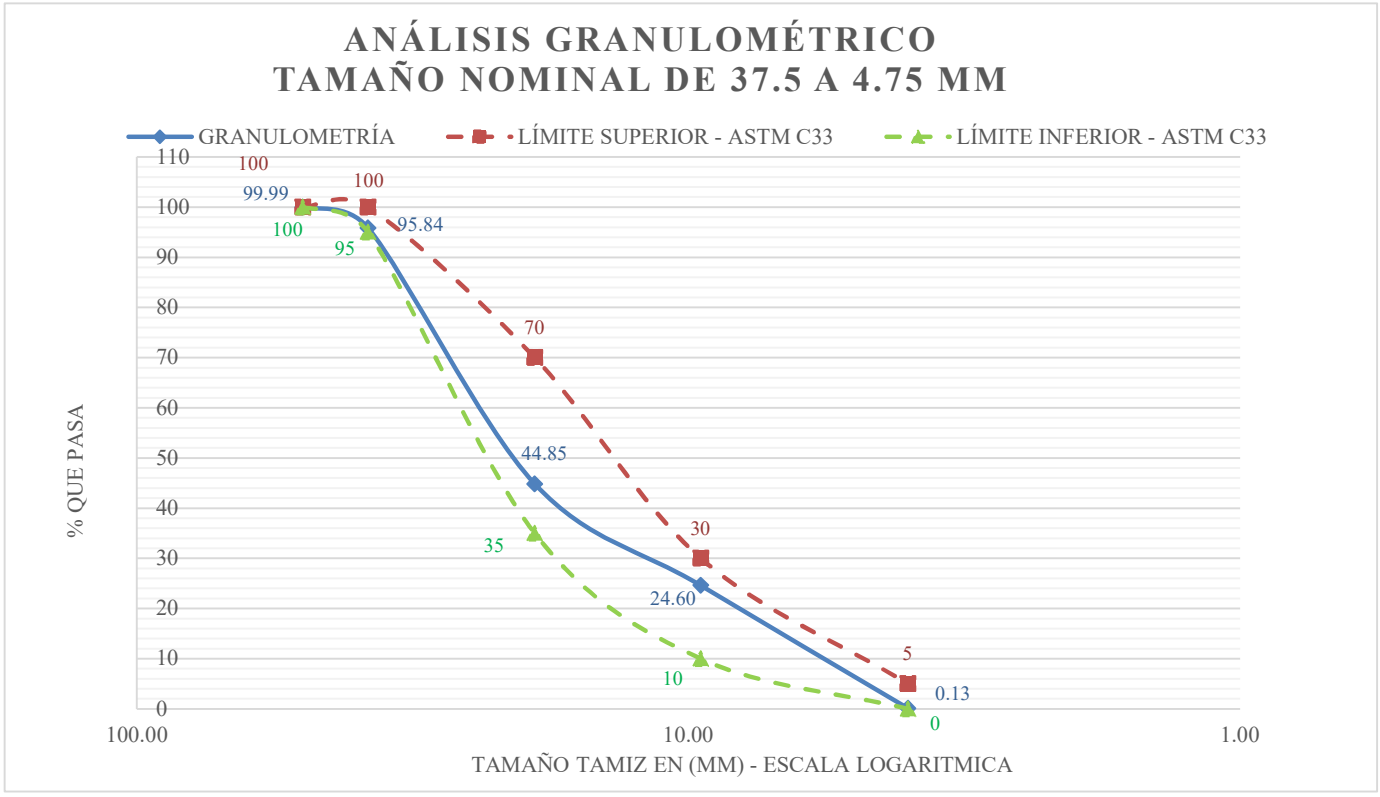
TESISTA	TESISTA	TUTOR	FECHA
Cristian Pilicita	Fernando Puluche	Ing. Vladimir Pazmiño	23/03/2022

Fuente: (Pilicita & Puluche, 2022)

Figura 45

Curva granulométrica del agregado grueso

CURVA GRANULOMÉTRICA – AGREGADO GRUESO



Fuente: (Pilicita & Puluche, 2022)

4.1.2.2. Peso unitario suelto

Tabla 22

Peso unitario suelto del agregado fino

Unach UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO en movimiento	FICHA - PESO UNITARIO SUELTO (PUS) AGREGADO FINO-MINA DE CHAMBO	FICHA N° 6

Muestra	Peso Molde (kg)	Peso molde + agua (kg)	Peso del Agua (kg)	Factor de Calibración del agua (kg/m³)	Volumen del Molde (m³)
1	3.15	6.10	2.9500	1000	0.00295

PESO UNITARIO SUELTO-AGREGADO FINO

Muestra	Peso Molde (kg)	Peso molde + arena (kg)	Peso de la Arena (kg)	Volumen del Molde (m³)	Peso Unitario Suelto (kg/m³)	Peso Unitario Suelto Promedio (kg/m³)
1	3.15	8.00	4.8500		1644.0678	
2	3.15	8.03	4.8800	0.00295	1654.2373	1642.9379
3	3.15	7.96	4.8100		1630.5085	

Fórmulas a utilizar

$$\boldsymbol{PA} = PT - PM \qquad \boldsymbol{PU} = \frac{PA}{VM}$$

PA: Peso del Agregado
PT: Peso del molde + agregado
PM: Peso del molde
VM: Volumen del molde
PU: Peso unitario del agregado

TESISTA	TESISTA	TUTOR	FECHA
Cristian Pilicita	Fernando Puluche	Ing. Vladimir Pazmiño	23/03/2022

Fuente: (Pilicita & Puluche, 2022)

Tabla 23

Peso unitario suelto del agregado grueso

Unach UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO en movimiento	FICHA - PESO UNITARIO SUELTO (PUS) AGREGADO GRUESO-MINA CERRO NEGRO	FICHA N° 7

Muestra	Peso Molde (kg)	Peso molde + agua (kg)	Peso del Agua (kg)	Factor de Calibración del agua (kg/m³)	Volumen del Molde (m³)
1	8.15	22.3	14.1500	1000	0.01415

PESO UNITARIO SUELTO-AGREGADO FINO

Muestra	Peso Molde (kg)	Peso molde + grava (kg)	Peso de la Grava (kg)	Volumen del Molde (m³)	Peso Unitario Suelto (kg/m³)	Peso Unitario Suelto Promedio (kg/m³)
1	8.15	28.2500	20.1000		1420.4947	
2	8.15	28.1800	20.0300	0.01415	1415.5477	1416.4900
3	8.15	28.1500	20.0000		1413.4276	

Fórmulas a utilizar

$$\boldsymbol{PA} = PT - PM \qquad \boldsymbol{PU} = \frac{PA}{VM}$$

PA: Peso del Agregado
PT: Peso del molde + agregado
PM: Peso del molde
VM: Volumen del molde
PU: Peso unitario del agregado

TESISTA	TESISTA	TUTOR	FECHA
Cristian Pilicita	Fernando Puluche	Ing. Vladimir Pazmiño	23/03/2022

Fuente: (Pilicita & Puluche, 2022)

4.1.2.3. Peso unitario compactado

Tabla 24

Peso unitario compactado del agregado fino

Unach UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO en movimiento	FICHA - PESO UNITARIO COMPACTADO (PUC) AGREGADO FINO - MINA DE CHAMBO	FICHA N° 8

Muestra	Peso Molde (kg)	Peso molde + agua (kg)	Peso del Agua (kg)	Factor de Calibración del agua (kg/m³)	Volumen del Molde (m³)
1	3.15	6.10	2.9500	1000	0.00295

PESO UNITARIO COMPACTADO-AGREGADO FINO

Muestra	Peso Molde (kg)	Peso molde + arena (kg)	Peso de la Arena (kg)	Volumen del Molde (m³)	Peso Unitario compactado (kg/m³)	Peso Unitario Compactado Promedio (kg/m³)
1	3.15	8.3000	5.1500		1745.7627	
2	3.15	8.2700	5.1200	0.00295	1735.5932	1744.6328
3	3.15	8.3200	5.1700		1752.5424	

Fórmulas por utilizar

$$\boldsymbol{PA} = PT - PM \qquad \boldsymbol{PU} = \frac{PA}{VM}$$

PA: Peso del Agregado
PT: Peso del molde + agregado
PM: Peso del molde
VM: Volumen del molde
PU: Peso unitario del agregado

TESISTA	TESISTA	TUTOR	FECHA
Cristian Pilicita	Fernando Puluche	Ing. Vladimir Pazmiño	23/03/2022

Fuente: (Pilicita & Puluche, 2022)

Tabla 25

Peso unitario compactado del agregado grueso

Unach UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO en movimiento	FICHA - PESO UNITARIO COMPACTADO (PUC) AGREGADO GRUESO-MINA CERRO NEGRO	FICHA N° 9

Muestra	Peso Molde (kg)	Peso molde + agua (kg)	Peso del Agua (kg)	Factor de Calibración del agua (kg/m^3)	Volumen del Molde (m^3)
1	8.15	22.3	14.1500	1000	0.01415

PESO UNITARIO COMPACTADO-AGREGADO FINO

Muestra	Peso Molde (kg)	Peso molde + grava (kg)	Peso de la Grava (kg)	Volumen del Molde (m^3)	Peso Unitario compactado (kg/m^3)	Peso Unitario Compactado Promedio (kg/m^3)
1	8.15	29.1000	20.9500		1480.5654	
2	8.15	29.0500	20.9000	0.01415	1477.0318	1481.7432
3	8.15	29.2000	21.0500		1487.6325	

Fórmulas por utilizar

$$\boldsymbol{PA} = PT - PM \qquad \boldsymbol{PU} = \frac{PA}{VM}$$

PA: Peso del Agregado
PT: Peso del molde + agregado
PM: Peso del molde
VM: Volumen del molde
PU: Peso unitario del agregado

TESISTA	TESISTA	TUTOR	FECHA
Cristian Pilicita	Fernando Puluche	Ing. Vladimir Pazmiño	23/03/2022

Fuente: (Pilicita & Puluche, 2022)

4.1.2.4. Contenido de humedad

Tabla 26

Contenido de humedad del agregado fino

Unach UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO en movimiento	**FICHA - CONTENIDO DE HUMEDAD**	**FICHA N°10**
	AGREGADO FINO - MINA DE CHAMBO	

N° de Ensayo	**1**	**2**	**3**
Nombre de Recipiente	1	2	3
Peso recipiente (g)	210.00	211.00	210.00
Peso recipiente + muestra arena húmeda (g)	710.00	711.00	710.00
Peso recipiente + muestra arena seca (g)	672.00	675.00	670.00
Peso del agua (g)	38.00	36.00	40.00
Peso muestra arena seca (g)	462.00	464.00	460.00
Contenido de humedad parcial (%)	8.2251	7.7586	8.6957
Contenido de humedad promedio (%)		**8.2265**	

Fórmulas por utilizar

$$\boldsymbol{P} = \frac{W - D}{D} * 100$$

DONDE:

P= Contenido de humedad (%)

W= Masa inicial de la muestra (g)

D= Masa de la muestra seca (g)

TESISTA	**TESISTA**	**TUTOR**	**FECHA**
Cristian Pilicita	Fernando Puluche	Ing. Vladimir Pazmiño	23/03/2022

Fuente: (Pilicita & Puluche, 2022)

Tabla 27

Contenido de humedad del agregado grueso

Unach UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO en movimiento	**FICHA - CONTENIDO DE HUMEDAD**	**FICHA N°11**
	AGREGADO GRUESO - MINA CERRO NEGRO	

N° de Ensayo	**1**	**2**	**3**
Nombre de Recipiente	M	sn	w
Peso recipiente (g)	354.00	396.00	375.00
Peso recipiente + muestra grava húmeda (g)	6354.00	6396.00	6375.00
Peso recipiente + muestra grava seca (g)	6262.00	6316.00	6302.00
Peso del agua (g)	92.00	80.00	73.00
Peso muestra grava seca (g)	5908.00	5920.00	5927.00
Contenido de humedad parcial (%)	1.5572	1.3514	1.2317
Contenido de humedad promedio (%)		**1.3801**	

Fórmulas por utilizar

$$\boldsymbol{P} = \frac{W - D}{D} * 100$$

DONDE:

P= Contenido de humedad (%)

W= Masa inicial de la muestra (g)

D= Masa de la muestra seca (g)

TESISTA	**TESISTA**	**TUTOR**	**FECHA**
Cristian Pilicita	Fernando Puluche	Ing. Vladimir Pazmiño	23/03/2022

Fuente: (Pilicita & Puluche, 2022)

4.1.2.5. Masa unitaria compactada de la mezcla

Tabla 28

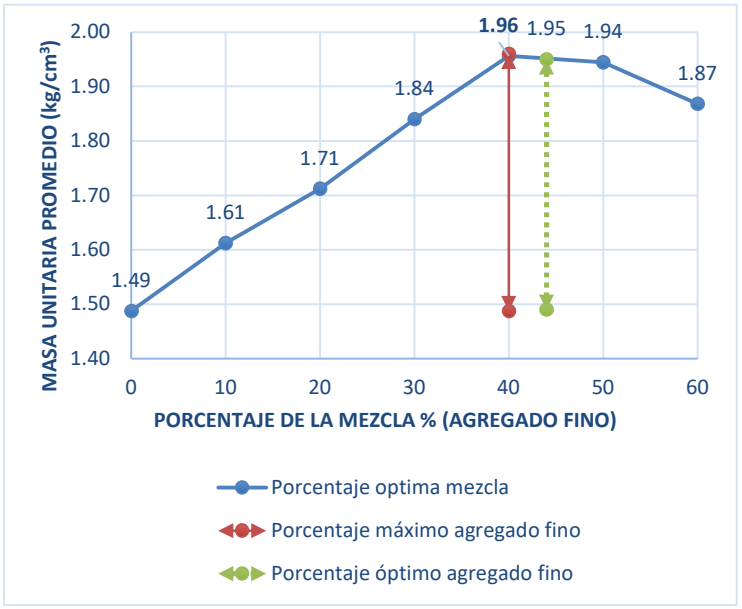
Masa unitaria compactada de la muestra

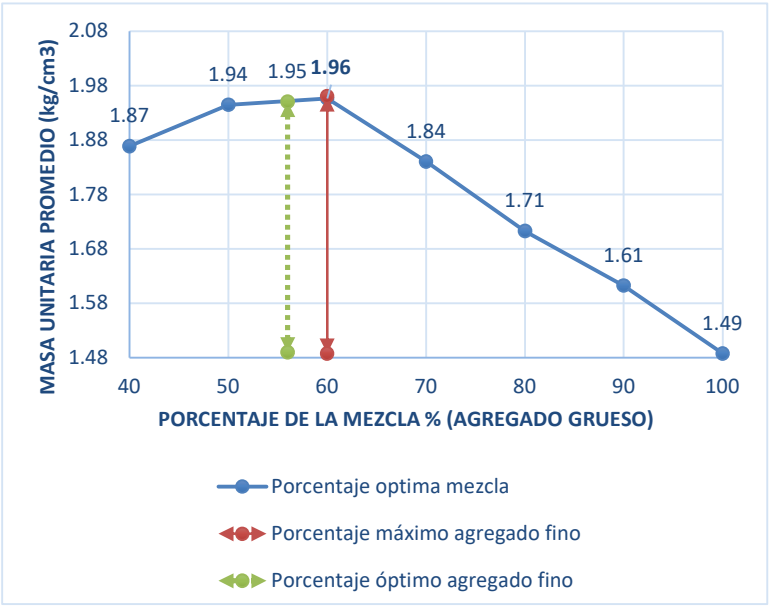
	FICHA - MASA UNITARIA COMPACTADA DE LA MEZCLA AGREGADO FINO Y GRUESO **ORIGEN:** MINA CERRO NEGRO (RIOBAMBA) **NORMA:** NTE INEN 858					**FICHA N° 12**
Volumen del molde=	14.15	dm^3	**Peso del molde=**	8.15	kg	
% Mezcla		**Peso (kg)**		**Agregado + molde (kg)**	**Agregado (kg)**	**Masa unitaria mezcla (kg/dm^3)**	**Masa unitaria promedio**
Grava	**Arena**	**Grava**	**Arena**	**AGREGADO FINO + GRUESO**			
				29.20	21.05	1.49	
100	0	21.00	0.00	29.15	21.00	1.48	1.49
				29.25	21.10	1.49	
				31.00	22.85	1.61	
90	10	21.00	2.33	30.70	22.55	1.59	1.61
				31.20	23.05	1.63	
				32.55	24.40	1.72	
80	20	21.00	5.25	32.25	24.10	1.70	1.71
				32.35	24.20	1.71	
				34.20	26.05	1.84	
70	30	21.00	9.00	34.11	25.96	1.83	1.84
				34.25	26.10	1.84	
				35.83	27.68	1.96	
60	40	21.00	14.00	35.78	27.63	1.95	1.96
				35.89	27.74	1.96	
				35.61	27.46	1.94	
50	50	21.00	21.00	35.67	27.52	1.94	1.94
				35.72	27.57	1.95	
				34.22	26.07	1.84	
40	60	21.00	31.50	34.89	26.74	1.89	1.87
				34.65	26.50	1.87	
TESISTA		**TESISTA**		**TUTOR**		**FECHA**	
Cristian Pilicita		Fernando Puluche		Ing. Vladimir Pazmiño		30/3/2022	

Fuente: (Pilicita & Puluche, 2022)

Figura 46

Porcentajes máximo y óptimo de la mezcla





Porcentaje máximo de agregado fino	40	%
Porcentaje máximo de agregado grueso	60	%
Porcentaje óptimo de agregado fino	44	%
Porcentaje óptimo de agregado grueso	56	%
Masa unitaria máxima	1.96	g/dm^3
Masa unitaria óptima	1.95	g/dm^3

Fuente: (Pilicita & Puluche, 2022)

4.1.2.6. Densidad real y capacidad absorción.

Tabla 29

Densidad real y capacidad de absorción del agregado grueso

	FICHA - DENSIDAD REAL Y CAPACIDAD DE ABSORCIÓN AGREGADO GRUESO **ORIGEN:** MINA CERRO NEGRO (RIOBAMBA) **NORMA: NTE INEN 857**		**FICHA N° 13**

CÁLCULO DE LA DENSIDAD REAL DEL AGREGADO GRUESO

DATOS	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	VALOR		
			Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3
MC1	Masa de la canastilla en el aire	g	746.70	746.70	746.70
MC2	Masa de la canastilla en el agua	g	99.50	99.50	99.50
MC3	Masa de la canastilla + muestra SSS en el aire	g	5746.70	5746.70	5746.70
MC4	Masa de la canastilla + muestra SSS en el agua	g	3157.40	3159.40	3155.00
DA	Densidad real del agua	g/cm^3	1.00	1.00	1.00
MC5=MC3-MC1	Masa de la muestra SSS en el aire	g	5000.00	5000.00	5000.00
MC6=MC4-MC2	Masa de la muestra SSS en el agua	g	3057.90	3059.90	3055.50
VR=(MC5-MC6)/DA	Volumen real de la muestra	cm^3	1942.10	1940.10	1944.50
DR=-MC5/VR	Densidad del agregado grueso	g/cm^3	2.57	2.58	2.57
	Densidad promedio del agregado	g/cm^3		2.57	

CÁLCULO DE LA CAPACIDAD DE ABSORCIÓN DEL AGREGADO GRUESO

DATOS	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	VALOR		
MT7	Masa del molde	g	751.00	610.00	355.00
MT8	Masa del molde + muestra SSS	g	5751.00	5610.00	5355.00
MT9=MT8-MT7	Masa de la muestra SSS	g	5000.00	5000.00	5000.00
MT10	Masa del molde + muestra seca	g	5634.00	5495.00	5241.00
MT11=MT10-MT7	Masa de la muestra seca	g	4883.00	4885.00	4886.00
CA=((MT9-MT11)/MT11)*100	Capacidad de absorción	%	2.40	2.35	2.33
P2=(CA 1+CA2)/2	Capacidad de absorción promedio	%		2.36	

TESISTA	TESISTA	TUTOR	FECHA
Cristian Pilicita	Fernando Puluche	Ing. Vladimir Pazmiño	23/03/2022

Fuente: (Pilicita & Puluche, 2022)

Tabla 30

Densidad real y capacidad de absorción del agregad fino

Unach UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO en movimiento	**FICHA - DENSIDAD REAL Y CAPACIDAD DE ABSORCIÓN AGREGADO FINO** **ORIGEN:** MINA CERRO NEGRO (RIOBAMBA) **NORMA: NTE INEN 856**	**N° FICHA 14**

CÁLCULO DE LA DENSIDAD REAL DEL AGREGADO FINO

DATOS	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	VALOR		
			Muestra 1	**Muestra 2**	**Muestra 3**
MP1	Masa del picnómetro	g	417.00	417.00	417.00
MP2	Masa del picnómetro + muestra SSS	g	917.00	917.00	917.00
MP3	Masa del picnómetro + muestra SSS + agua	g	1554.00	1551.00	1557
MP4=MP3-MP2	Masa agua añadida	g	637.00	634.00	640.00
MP5	Masa picnómetro + 500cc de agua	g	1245.00	1245.00	1245.00
MP6=MP5-MP1	Masa de 500cc de agua	g	828.00	828.00	828.00
DA=MP6/500cm^3	Densidad del agua	g/cm^3	1.00	1.00	1.00
MP7=MP6-MP4	Masa del agua desalojada por la muestra	g	191.00	194.00	188.00
Msss=MP2-MP1	Masa del agregado fino	g	500.00	500.00	500.00
Vsss=MP7/DA	Volumen del agua desalojada	cm^3	191.00	194.00	188.00
DRA=Msss/Vsss	Densidad real del agregado fino	g/cm^3	2.62	2.58	2.66
	Densidad real promedio del agregado fino	g/cm^3	2.**62**		

CÁLCULO DE LA CAPACIDAD DE ABSORCIÓN DEL AGREGADO FINO

DATOS	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	VALOR		
MT7	Masa del molde	G	170.00	171.00	190.00
MT8	Masa del molde + muestra SSS	G	670.00	671.00	690.00
MT9=MT8-MT7	Masa de la muestra SSS	G	500.00	500.00	500.00
MT10	Masa del recipiente + muestra seca	G	653.00	656.00	675.50
MT11=MT10-MT7	Masa de la muestra seca	G	483.00	485.00	485.50
CA=((MT9-MT11)/MT11)*100	Capacidad de absorción	%	3.52	3.09	2.99
P2=(CA 1+CA2)/2	Capacidad de absorción promedio	%	**3.20**		

TESISTA	TESISTA	TUTOR	FECHA
Cristian Pilicita	Fernando Puluche	Ing. Vladimir Pazmiño	23/03/2022

Fuente: (Pilicita & Puluche, 2022)

4.1.2.7. Abrasión

Tabla 31

Resultado del ensayo a la abrasión del agregado grueso

Unach UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO en movimiento	FICHA - ABRASION AGREGADO GRUESO-MINA CERRO NEGRO	FICHA N° 15

Número de esferas=	12	**Tiempo estimado=**	15 minutos
Revoluciones/min=	33		
Total Revoluciones/min=	500		

# de ensayo	Masa retenida en el Tamiz (g)				Masa total (g)	Masa retenida tamiz #12 (g)
	1"	3/4"	1/2"	3/8"		
1	1247	1263	1248	1245	5003	3510.00
2	1241	1252	1247	1251	4991	3453.00
3	1266	1244	1240	1251	5001	3454.00

# de ensayo	% Desgaste	Rango (<40%)	% Desgaste Promedio
1	29.84	**Cumple**	30.53
2	30.82	**Cumple**	
3	30.93	**Cumple**	

Fórmulas a utilizar

$$\%\boldsymbol{Desgaste} = \frac{100 * (Pi - Pf)}{Pf}$$

DONDE:
Pi= Masa final de la muestra
Pf= Masa final de la muestra
% Desgaste= % de perdida de material

TESISTA	TESISTA	TUTOR	FECHA
Cristian Pilicita	Fernando Puluche	Ing. Vladimir Pazmiño	23/03/2022

Fuente: (Pilicita & Puluche, 2022)

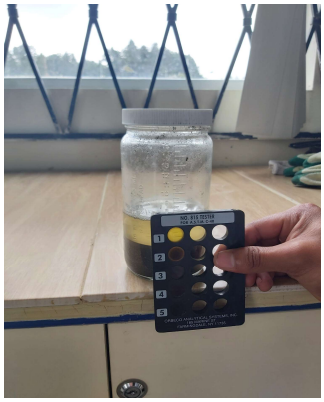
4.1.2.8. Impurezas orgánicas - Colorimetría

Tabla 32

Resultado del ensayo de colorimetría del agregado fino

Unach	FICHA - IMPUREZAS ORGANICAS AGREGADO FINO - MINA CERRO NEGRO	FICHA N° 16

Muestra 1- Resultado de colorimetría con el comparador de color normalizado



Número de orden del comparador= 1 *Bajo nivel de materia orgánica, > 3 alto contenido de materia inorgánica*

Muestra 2- Resultado de colorimetría con el comparador de color normalizado

Número de orden del comparador= 1 *Bajo nivel de materia orgánica, > 3 alto contenido de materia inorgánica*

Nota: Cuando los resultados se encuentran en el orden de 3 a 5 indica que hay una alta presencia de materia inorgánica en el agregado, por lo que se debe rechazar y buscar de otra mina para que pueda ser utilizado en el hormigón, en este caso el orden es 1 con cantidades mínimas de materia inorgánica por lo cual se acepta el material.

TESISTA	TESISTA	TUTOR	FECHA
Cristian Pilicita	Fernando Puluche	Ing. Vladimir Pazmiño	29/03/2022

Fuente: (Pilicita & Puluche, 2022)

4.1.2.9. Contenido de terrones de arcilla y partículas deleznables

Tabla 33

Resultado del contenido de terrones de arcilla y partículas deleznables del agregado fino

Unach UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO en movimiento	FICHA - CONTENIDO DE TERRONES DE ARCILLA Y PARTÍCULAS DELEZNABLES	FICHA N° 17
	AGREGADO FINO - HORMIGONES MORENO	

N° Ensayo	Masa retenida tamiz N°16	Masa lavada retenida tamiz N°20	% de Terrones y deleznables
1	25 g	25.00 g	0.00 %
2	25 g	24.00 g	4.00 %
3	25 g	25.00 g	0.00 %
		Promedio=	1.33 %

Fórmula utilizada

$$\boldsymbol{P} = \frac{M - R}{M} * 100$$

DONDE:
M: Masa mínima inicial seca de la muestra
P: Porcentaje de terrones de arcilla y Partículas deleznables
R: Masa final seca de la muestra

TESISTA	TESISTA	TUTOR	FECHA
Cristian Pilicita	Fernando Puluche	Ing. Vladimir Pazmiño	23/03/2022

Fuente: (Pilicita & Puluche, 2022)

Tabla 34

Resultado del contenido de terrones de arcilla y partículas deleznables del agregado grueso

Unach UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO en movimiento	FICHA - CONTENIDO DE TERRONES DE ARCILLA Y PARTÍCULAS DELEZNABLES AGREGADO GRUESO - MINA- CERRO NEGRO	FICHA N° 18

N° De Ensayo	1	2	3
Masa retenida en los tamices		(gramos)	
N° 4 - 3/8"	1000.00	1000.00	1000.00
3/8" - 3/4"	2000.00	2000.00	2000.00
3/4" - 1 1/2"	3000.00	3000.00	3000.00
> 1 1/2"	5000.00	5000.00	5000.00
Masa lavada retenida en los tamices		(gramos)	
N°8	992.00	988.00	994.00
N°4	1986.00	1991.00	1988.00
N°4	2993.00	2994.00	2992.00
N°4	4962.00	4968.00	4965.00
Partículas de arcilla y deleznables		P (%)	
N° 4 - 3/8"	0.8000	1.2000	0.6000
3/8" - 3/4"	0.7000	0.4500	0.6000
3/4" - 1 1/2"	0.2333	0.2000	0.2667
> 1 1/2"	0.7600	0.6400	0.7000
Promedio=	0.6233	0.6225	0.5417
Promedio General=		0.5958%	

Fórmula utilizada

$$\boldsymbol{P} = \frac{M - R}{M} * 100$$

DONDE:

M: Masa mínima inicial seca de la muestra

P: Porcentaje de terrones de arcilla y partículas deleznables

R: Masa final seca de la muestra

TESISTA	TESISTA	TUTOR	FECHA
Cristian Pilicita	Fernando Puluche	Ing. Vladimir Pazmiño	29/03/2022

Fuente: (Pilicita & Puluche, 2022)

4.1.2.10. Determinación de la cantidad de material que pasa el tamiz de 75 µm (No. 200) en los agregados pétreos mediante lavado

Tabla 35

Resultados del material que pasa el tamiz No. 200 mediante lavado

	FICHA - CANTIDAD DE MATERIAL QUE PASA EL TAMIZ DE 75µm (No.200) MEDIANTE LAVADO	FICHA N° 19
Unach UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO en movimiento	AGREGADO FINO - MINA CERRO NEGRO	

N° de Ensayo	1	2	3
Masa seca inicial de la arena(g)	300	300	300
Masa seca final luego del lavado (g)	294	293	290
Porcentaje más fino que pasa el tamiz No. 200 (%)	2.00	2.33	3.33
Promedio del Porcentaje más fino que pasa el tamiz No.200 (%)	2.56		

Control= **Cumple** *Menos del 3% para TMN de 4.75mm - NTE INEN 697: 2010*

Fórmulas por utilizar

$$\boldsymbol{A} = \frac{B - C}{B} * 100$$

DONDE:

A: Porcentaje del material más fino que pasa el tamiz con abertura de 75µm (No. 200) mediante lavado

B: Masa seca original de la muestra, g.

C: Masa seca de la muestra luego del lavado, g.

TESISTA	TESISTA	TUTOR	FECHA
Cristian Pilicita	Fernando Puluche	Ing. Vladimir Pazmiño	29/03/2022

Fuente: (Pilicita & Puluche, 2022)

4.1.3. Caracterización del cemento

4.1.3.1. Densidad real del cemento Chimborazo

Tabla 36

Peso específico del cemento Chimborazo Tipo "GU"

Unach	FICHA - PESO ESPECÍFICO CEMENTO PORTLAND	FICHA N° 20

N° de Ensayo	1	2	3
Masa del cemento (g)	64	64	64
Lectura inicial (ml o cm^3)	0	0	0
Lectura final (ml o cm^3)	22	22.1	21.9
Volumen Desalojado (ml o cm^3)	22.00	22.10	21.90
(g/cm3)	2.91	2.90	2.92
Densidad promedio del cemento (g/cm^3)	2.91		
Peso específico relativo del cemento (PERC)	2.91	2.90	2.92
Peso específico relativo promedio del cemento (PERc)		2.91	

Fórmulas por utilizar

$$\boldsymbol{\rho_c} = \frac{M}{V_f - V_i} \qquad \boldsymbol{PER_c} = \frac{\rho_c}{\rho_{H2O}}$$

DONDE:

M: Masa de la muestra de cemento
Vi: Volumen inicial del líquido introducido al frasco le Chatelier en cm3
Vf: Volumen final del líquido después de introducir 64 g de cemento en cm3.
ρc: Densidad del cemento en g/cm3
ρH2O: Densidad del agua a 4 °C= 1 g/cm3
PERc: Peso específico relativo del cemento

TESISTA	TESISTA	TUTOR	FECHA
Cristian Pilicita	Fernando Puluche	Ing. Vladimir Pazmiño	29/03/2022

Fuente: (Pilicita & Puluche, 2022)

4.1.4. Conteo Vehicular y TPDA

Para el conteo vehicular fue contemplada una de las Avenidas de la circunvalación de la ciudad de Riobamba con mayor aforo de tráfico: la Av. Pedro Vicente y Av. Monseñor Leónidas Proaño, en el sector denominado “Media Luna” mediante cámaras de video para registrar el conteo de los vehículos las 24 horas de los 7 días (Orozco & Riera, 2022). Los resultados se muestran en la ***Tabla 37***.

Figura 47

Cámaras para conteo vehicular Sector “Media Luna”

Fuente: (Orozco & Riera, 2021)

Tabla 37

Conteo vehicular 7 días

DÍA	VEHÍCULO	CAMIONETA	BUS	CAMIÓN 2 Ejes	CAMIÓN 3 Ejes	VOLQUETAS 2 Ejes	VOLQUETAS 3 Ejes	TRAILERS	ESPECIALES	MAQUINARIA	BICI / MOTO	∑ TOTAL
LUNES	16870	6593	1708	3460	963	168	215	712	85	11	1151	31936
MARTES	13696	5472	1611	2720	788	125	170	395	79	7	993	26056
MIÉRCOLES	15292	6995	1676	4033	1104	177	230	764	81	14	1217	31583
JUEVES	14897	5725	1641	3734	881	172	209	406	72	7	1089	28833
VIERNES	19160	7102	2198	4001	1094	197	221	773	149	7	1425	36327
SABADO	14245	6351	1746	2729	960	152	177	722	97	8	908	28095
DOMINGO	13831	6000	1264	1979	1053	116	136	702	66	5	1273	26425
∑ TOTAL	107991	44238	11844	22656	6843	1107	1358	4474	629	59	8056	209255

Fuente: (Orozco & Riera, 2022)

4.1.5. Número de ejes equivalente (W18)

a) Trafico promedio diario anual.

Tabla 38

Variables por considerar para el cálculo del tráfico vehicular futuro

TIPO		Σ Tdi	TPDS	i(%)	S	σ	TPDA
Pesados	Liviano	160285	22898	3.27	2592	971.55	24802
	Bus	12473	1782	1.54	300	112.58	2003
	Camión de 2 Ejes	22656	3237	2.48	777	291.23	3807
	Volqueta de 2 Ejes	1107	158	2.48	29	10.89	179
	Camión de 3 Ejes	6843	978	2.48	116	43.56	1063
	Volqueta de 3 Ejes	1358	194	2.48	34	12.73	219
	Tráiler	4474	639	2.48	165	61.89	760
	Maquinaria	59	8	2.48	3	1.14	11

Fuente: (Orozco & Riera, 2022)

b) Cálculo del tráfico futuro

Ecuación 2. Cálculo del tráfico futuro

$$\boldsymbol{TF} = TPDA * (1 + i)^n$$

- **i%=** Tasa de crecimiento vehicular
- **n=** Periodo de diseño

Tabla 39

Tasa de crecimiento del tráfico vehicular

PERÍODO	VEHÍCULO		
	LIVIANO	BUS	CAMIÓN
2005 - 2010	4.49	2.12	3.41
2011 - 2015	3.99	1.89	3.03
2016 - 2020	3.6	1.7	2.72
2021 - 2040	3.27	1.54	2.48

Fuente: Coordinación de Factibilidad – MTOP

Tabla 40

Tráfico vehicular proyectado al año 2041- periodo de diseño 20 años

		Tráfico Futuro (TF)									
	TIPO	**2023**	**2025**	**2027**	**2029**	**2031**	**2033**	**2035**	**2037**	**2039**	**2041**
Pesados	Liviano	26451	28209	30084	32083	34216	36490	38916	41503	44261	47203
	Bus	2065	2129	2195	2263	2333	2406	2480	2557	2637	2718
	Camión 2 Ejes	3999	4199	4410	4632	4864	5109	5365	5634	5917	6215
	Volqueta 2 Ejes	189	198	208	218	229	241	253	266	279	293
	Camión 3 Ejes	1116	1172	1231	1293	1358	1426	1498	1573	1652	1735
	Volqueta 3 Ejes	230	241	254	266	280	294	309	324	340	357
	Tráiler	799	839	881	925	972	1020	1072	1125	1182	1241
	Maquinaria	11	12	12	13	14	14	15	16	17	17

Fuente: (Pilicita & Puluche, 2022)

Tabla 41

Porcentaje de vehículos pesados en el aforo vehicular actual

Distribución Promedio de Vehículos Pesados		
Tipo	Nomenclatura	**%**
Bus	-	24.8994
Vehículos Pesados Chasis Rígido 2 Ejes	2D - 2DA - 2DB - V2DB	49.7059
Vehículos Pesados Chasis Rígido 3 Ejes	3A - V3A – VZS	15.9392
Vehículos Pesados Chasis Articulado	T2S1 – T2S2 – T2S3 – T3S1 – T3S2 – T3S3	9.4556
∑ Total		100

Fuente: (Pilicita & Puluche, 2022)

a) Cálculo del factor de carga equivalente

Tabla 42

Cálculo del Factor de carga equivalente (FCE)

VEHÍCULO	TPDA (%)	CARGA EJE		FCE por eje	FCE en TPDA	Σ FCE
Bus	24.8994	**Fss**	7	1.2654	0.3151	1.1214
		Fsd	11	3.2383	0.8063	
Pesado chasis rígido 2 ejes	49.7059	**Fss**	7	1.2654	0.6290	
		Fsd	11	3.2383	1.6096	
Pesado chasis rígido 3 ejes	15.9392	**Fss**	7	1.2654	0.2017	3.4746
		Ft	20	3.1605	0.5038	
Pesado chasis articulado	9.4556	**Fss**	7	1.2654	0.1196	
		Ft	20	3.1605	0.2988	
	Σ= 100	**Ftr**	24	1.1856	0.1121	
				Factor de carga equivalente total (LEF)		***Σ= 4.5960***

Fuente: (Pilicita & Puluche, 2022)

b) Cálculo del número de ejes equivalentes

Ecuación 3. Número de repeticiones de ejes equivalentes

$$\boldsymbol{ESAL's} = \left(\frac{TPDA_{inicial} + TPDA_{final}}{2}\right) * 365 * n * \Sigma FCE * \%TC$$

Donde:

- **$TPDA_{inicial}$=** Tráfico Promedio Diario Anual Inicial
- **$TPDA_{final}$=** Tráfico Promedio Diario Anual Final
- **Σ FCE** = Factor de Carga Equivalente en TPDA
- **%TCD**= Porcentaje de Tráfico para el carril de diseño
- **n=** Periodo

Tabla 43

Valores del porcentaje de tráfico de carril de diseño

N° de carriles (2 direcciones)	% de camiones en el carril de diseño
2	50
4	(35-48)
6 o más	(25-480

Fuente: (AASHTO, 1993)

Tabla 44

Número de ejes equivalentes de vehículos tipo Bus

Tipo	Periodo en Años	Tráfico Inicial	Tráfico Futuro	FCE	%TCD	ESAL's	Año
Bus	2	2003	2065	1.1214	45%	749 121	2023
	2	2065	2129			772 371	2025
	2	2129	2195			796 344	2027
	2	2195	2263			821 060	2029
	2	2263	2333			846 543	2031
	2	2333	2406			872 818	2033
	2	2406	2480			899 907	2035
	2	2480	2557			927 838	2037
	2	2557	2637			956 635	2039
	2	2637	2718			986 327	2041
						Σ ESAL'S= 8 628 964	

Fuente: (Pilicita & Puluche, 2022)

Tabla 45

Número de ejes equivalentes de vehículos tipo chasis rígido y articulado

Tipo	Periodo en Años	Tráfico Inicial	Tráfico Futuro	FCE	%TCD	ESAL's	Año
Chasis rígido y articulado	2	6040	6343	3.4746	45%	7 067 099	2023
	2	6343	6662			7 421 973	2025
	2	6662	6996			7 794 668	2027
	2	6996	7348			8 186 077	2029
	2	7348	7716			8 597 142	2031
	2	7716	8104			9 028 847	2033
	2	8104	8511			9 482 231	2035
	2	8511	8938			9 958 382	2037
	2	8938	9387			10 458 443	2039
	2	9387	9859			10 983 614	2041
						Σ ESAL'S= 88 978 475	

Fuente: (Pilicita & Puluche, 2022)

$$\boldsymbol{ESAL's\ Total} = ESAL's_{Bus} + ESAL's_{Chasis\ rígido\ y\ articulado}$$

$$\boldsymbol{ESAL's\ Total} = 8'\,628\,964 + 88'\,978\,475$$

$$\boldsymbol{ESAL's\ Total} = 97'\,607\,439$$

4.1.6. Valoración del "Módulo de rotura" (MR)

El módulo de rotura del concreto depende del nivel del tránsito como se puede ver en la ***Tabla 46.***

Tabla 46

Módulo de rotura que debe tener el concreto

Calidad del concreto	Número de camiones por día			
MR (MPa)	>300	150 - 300	25 – 150	<25
	4.5	4.2	4.0	3.8

Fuente: (Ministerio de transporte & Instituto nacional de vías, 2008)

Tabla 47

Número de camiones al día

DÍA	CAMIÓN 2 Ejes	CAMIÓN 3 Ejes
LUNES	3460	963
MARTES	2720	788
MIÉRCOLES	4033	1104
JUEVES	3734	881
VIERNES	4001	1094
SABADO	2729	960
DOMINGO	1979	1053

Fuente: (Orozco & Riera, 2022)

Como se puede evidenciar en la ***Tabla 47*** el número de camiones al día supera el valor de 300 que establece el manual del INVIAS, con base en esto se establece que la resistencia de diseño del módulo de rotura de la vía es de 4.5 MPa.

4.1.7. Diseño del espesor de la losa para pavimento rígido

Para el diseño de espesor de la losa se consideró el método AASHTO-93 y el método propuesto por INVIAS.

4.1.7.1. Método AASHTO-93.

El método AASHTO-93 propone la siguiente fórmula para el cálculo del espesor:

$$\boldsymbol{ESAL's} = Z_R * S_O + 7.35\,log\,(D+1) - 0.06 + \frac{lg\frac{\Delta PSI}{4.5-1.5}}{1+\frac{1.625*10^7}{(D+1)^{8.46}}} + (4.22 - 0.32P_t) * log\left(\frac{S'_C * C_d(D^{0.75}-1.132)}{215.63 * J * \left(D^{0.75} - \frac{18.42}{\left(\frac{E_C}{K}\right)^{0.25}}\right)}\right)$$

Tabla 48

Cálculo de espesor por el método AASHTO-93

DATOS		
ESAL´s	97’607 439	-
Z_R - Coeficiente Estadístico De Desviación Estándar Normal	-1.282	-
So - Desviación Estándar Combinada	0.350	-
ΔPSI - Variación de Serviciabilidad	1.85	-
Pf - Serviciabilidad Final o Terminal	2.25	-
S'c – MR	45	kg/cm^2
S'c – MR	639.885	PSI
Cd - Coeficiente de drenaje	1.00	-
J - Coeficiente de trasferencia de carga	2.70	-
Ec - Módulo de elasticidad	3819347.32	PSI
K - Módulo efectivo de reacción	330.00	PSI
RESULTADO		
D (Espesor)	12.60	in
	32.00	cm

Fuente: (Pilicita & Puluche, 2022)

4.1.7.2. Cálculo por el método INVIAS.

Para el cálculo del espesor, se determinó la categoría a la cual pertenece el número de ESAL’s antes calculado correspondiente a 97’607 439, mismo que según la **Tabla *1*** corresponde a una categoría T6.

Según Patín (2018) el tipo de suelo de la ciudad de Riobamba corresponde a una arena limosa según clasificación SUCS, dicho suelo tiene un CBR de 13.35% promedio. Dicho suelo tiene una clasificación S4 en función de su resistencia de acuerdo con **Tabla *2***.

La clasificación de los materiales de soporte del pavimento rígido según la norma INVIAS, corresponde a una subrasante natural (SN), debido a que es un buen suelo. Por otro lado, se considera que la vía tendrá dovelas y bermas como lo cuenta toda la circunvalación de Riobamba, por ende, esta clasificación será D y B. Y finalmente el módulo de rotura para el diseño es igual a 45 kg/cm^2.

Con todos estos datos, se puede obtener el espesor del pavimento mediante la ***Tabla 49***, que indica un espesor de 26 cm.

Tabla 49

Espesor de la losa: Método INVIAS

ESPESOR DE LOSA DE CONCRETO (cm) DE ACUERDO CON LA COMBINACIÓN DE VARIABLES																				
		Tránsito T6																		
		S1				S2				S3				S4				S5		
		D y B	D y No B	No D y B	No D y No B	D y B	D y No B	No D y B	No D y No B	D y B	D y No B	No D y B	No D y No B	D y B	D y No B	No D y B	No D y No B	D y B	D y No B	No D y B	No D y No B
SN	**MR1**	32								27				27				27	30		
	MR2	30				29				26	30			26	30			26	30		
	MR3	30				29				26	30			26	30			26	30		
	MR4	30				29				26	30			26	30			26	30		
BG	**MR1**	30				29				27				27				26	30		
	MR2	29				28				26	30			26	30			25	29		
	MR3	29				28				26	30			26	30			25	29		
	MR4	29				28				26	30			26	30			25	29		
BEC	**MR1**	26	30			26	29			24		29		24		29		24	28	29	
	MR2	25	29			25	29			24	28	29		24	28	29		24	28	29	
	MR3	25	29			25	29			24	28	29		24	28	29		24	28	29	
	MR4	25	29			25	29			24	28	29		24	28	29		24	28	29	

Fuente: (Ministerio de transporte & Instituto nacional de vías, 2008)

4.1.7.3. Correlación del módulo de rotura con la resistencia a la compresión

La AASHTO-93 establece la siguiente fórmula para correlacionar el módulo de rotura con la resistencia a la compresión:

$$MR(psi) = 7\sqrt{f'c}\ (límite\ inferior)$$

$$MR(psi) = 12\sqrt{f'c}\ (límite\ superior)$$

Tabla 50

Cálculo del módulo de rotura en función de la resistencia a la compresión.

f'c		MR			
		Límite inferior		Límite superior	
PSI	**kg/cm^2**	**PSI**	**kg/cm²**	**PSI**	**kg/cm²**
4551.92	320.00	472.28	33.20	809.62	56.92

La media entre el límite inferior y superior es de 45 kg/cm^2 que corresponde al módulo de rotura de diseño, por lo que la resistencia a la compresión requerida es de 320kg/cm^2.

4.1.8. Dosificación de la mezcla de hormigón por el método de la densidad óptima

Tabla 51

Datos generales del cemento y agregados a utilizar en la dosificación por densidad óptima

DATOS		
Resistencia a los 28 días requerida	320	kg/cm^2
Densidad real del cemento: DRC	2.91	kg/dm^3
Densidad real de la arena: DRA	2.62	kg/dm^3
Densidad real del ripio: DRR	2.57	kg/dm^3
Porcentaje óptimo de arena: POA	44	%
Porcentaje óptimo de ripio: POR	56	%
Masa unitaria óptima de la mezcla: DOM	1.95	kg/dm^3
Capacidad de absorción de la arena: CAA	3.2	%
Capacidad de absorción del ripio: CAR	2.36	%
Contenido de humedad arena: CHA	8.22	%
Contenido de humedad del ripio: CHR	1.38	%

Fuente: (Pilicita & Puluche, 2022)

1) **Relación agua/cemento (W/C)**

Tabla 52

Resistencia a la compresión a los 28 días en kg/cm^2

Resistencia a la compresión a los 28 días en kg/cm² (f'c)	Relación agua/cemento (W/C)
450	0.37
420	0.4
400	0.42
350	0.46
320	0.5
300	0.51
280	0.52
250	0.55
240	0.56
210	0.58
180	0.6

Fuente: GARZÓN M. (2010). Investigación sobre el Módulo de Elasticidad del Hormigón. UCE. Quito – Ecuador. Pág. 47.

W/C	0.50	-

2) Densidad real de la mezcla (DRM) de agregado fino con grueso

$$DRM = \frac{DRA * POA + DRR * POR}{100}$$

DRM=	2.59	kg/dm^3

3) Porcentaje óptimo de vacíos (%OV)

$$\%OV = \frac{DRM - DOM}{DRM} * 100$$

%OV	25.00	%

4) Cantidad de pasta (CP)

La cantidad de pasta se refiere al agua y cemento en volumen. Para el diseño la fórmula que se utilizará es de 6 - 9 cm.

Tabla 53

Fórmula cantidad de pasta (%)

Asentamiento (cm)	Cantidad de pasta (%)
0 – 3	%OV + 2% + 3% (%OV)
3 – 6	%OV + 2% + 6% (%OV)

6 – 9	%OV + 2% + 8% (%OV)
9 – 12	%OV + 2% +11% (%OV)
12 – 15	%OV + 2% + 13% (%OV)

Fuente: Garzón, M (2010). Investigación sobre el Módulo de Elasticidad del Hormigón. UCE. Quito – Ecuador. Pág. 47.

$$CP = \%OV + 2\% + 8\% * \%OV$$

CP	29.00	%
CP	290.00	dm^3

5) Cantidad de cemento (C)

$$CP = W + C$$

$$CP = \frac{W}{1} + \frac{C}{DRC}$$

$$CP = C * (\frac{W}{C} + \frac{1}{DRC})$$

$$C = \frac{CP}{\frac{W}{C} + \frac{1}{DRC}}$$

C	343.75	kg por cada m^3 de concreto

6) Cantidad de agua (W)

$$Cantidad\ de\ agua = Dosificación\ de\ agua * Cantidad\ de\ cemento$$

$$W = \frac{W}{C} * C$$

W	171.87	kg o litro por cada m^3 de concreto

7) Cantidad de agregados

Cantidad de Arena (A)

$$A = (1000 - CP) * DRA * \frac{POA}{100}$$

A	818.49	kg por cada m^3 de concreto

Cantidad de Ripio (R)

$$R = (1000 - CP) * DRR * \frac{POR}{100}$$

R	1021.83	kg por cada m^3 de concreto

8) Dosificación al peso

$$Dosificación\ de\ un\ material\ (W, A, R) = \frac{Cantidad\ del\ materia\ (W,\ A, R) * 1m^3}{Cantidad\ de\ Cemento\ (C)}$$

Tabla 54

Dosificación al peso sin corregir con humedad de agregados

DESCRIPCIÓN	PESOS PARA 1m3		PROPORCIÓN
Cemento	343.75	kg	1
Agua	171.87	kg o L	0.50
Arena	818.49	kg	2.38
Ripio	1021.83	kg	2.97

Fuente: (Pilicita & Puluche, 2022)

9) Corrección de humedad a la dosificación

$$Arena = Peso(arena) * \frac{100 + \%humedad\ (arena)}{100 + \%absorción\ (arena)}$$

% humedad ARENA	0.0822	%
% absorción ARENA	0.032	%
A	818.90	kg por cada m^3 de concreto

$$Ripio = Peso(ripio) * \frac{100 + \%humedad\ (ripio)}{100 + \%absorción\ (ripio)}$$

% humedad RIPIO	0.0138	%
% absorción RIPIO	0.0236	%
R	1021.73	kg por cada m^3 de concreto

AGUA ANTES DE CORRECIÓN	171.87	kg o litro por cada m^3 de concreto

$$Agua = Masa\ (arena) * \frac{\%\ humedad\ (arena) - \%\ absorción\ (arena)}{100 + \%\ absorción\ (arena)}$$

AGUA CONTENIDA EN ARENA	-0.41	kg por cada m^3 de concreto

$$Agua = Masa\ (ripio) * \frac{\%\ humedad\ (ripio) - \%\ absorción\ (ripio)}{100 + \%\ absorción\ (ripio)}$$

AGUA CONTENIDA EN RIPIO	0.10	kg por cada m^3 de concreto

CANTIDAD DE AGUA CORREGIDA	171.56	kg o litro por cada m^3 de concreto

Tabla 55

Dosificación al peso corregida con la humedad que presentan los agregados

DESCRIPCIÓN	PESOS PARA 1 m^3		PROPORCIÓN
Cemento	343.75	Kg	1
Agua	171.36	kg o L	0.50
Arena	818.90	Kg	2.38
Ripio	1021.73	Kg	2.97

Fuente: (Pilicita & Puluche, 2022)

4.1.9. Dosificación de la fibra de abacá.

Para la cantidad de fibras se ha considerado el volumen de los moldes de las vigas y cilindros, y más no, en función del peso del cemento como lo realizan en diferentes estudios, ya que la cantidad de cemento que se coloca dentro de un hormigón varía en función de la resistencia de diseño, y la fibra al ser un material muy ligero ocuparía gran parte de la mezcla, perdiendo así trabajabilidad de la misma, con base en esto, se calculó en función del volumen porque permite tener un mejor control de la cantidad que se va a poner en las diferentes muestras.

Para el cálculo se tomó en cuenta la densidad de la fibra de abacá en estado saturado superficialmente seco, con el fin de que la fibra no le quite el agua a la dosificación del concreto simple ya calculado, los resultados del ensayo se presentan en la ***Tabla 17***. Finalmente, se multiplica el valor de la densidad por el volumen de los moldes de vigas y cilindros, como se muestra a continuación.

Tabla 56

Dosificación de fibra para viga y cilindro

Descripción		Dimensiones (cm)	Volumen (m^3)	Densidad fibra (kg/m^3)	Peso fibra por molde (kg)	Peso fibra por molde (g)
0.25% Fibra abacá	Viga	15 x 15 x 53	0.0119	1255.25	0.0374	37.42
	Cilindro	15 x 30	0.0053	1255.25	0.0166	16.64
0.50% Fibra abacá	Viga	15 x 15 x 53	0.0119	1255.25	0.0748	74.84
	Cilindro	15 x 30	0.0053	1255.25	0.0333	33.27

Fuente: (Pilicita & Puluche, 2022)

Tabla 57

Dosificación fibra para 1 m3

Descripción	Pesos para 1 m^3	
0.25% Fibra abacá	3.14	kg
0.50% Fibra abacá	6.28	kg

Fuente: (Pilicita & Puluche, 2022)

4.1.10. Resultados de la resistencia a la compresión de las mezclas de hormigón

Tabla 58

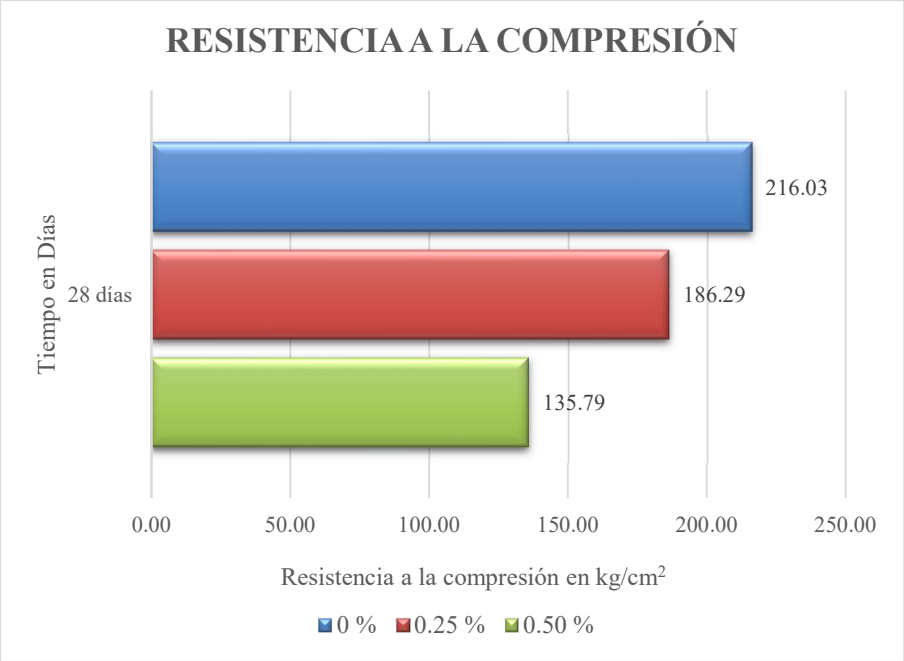
Resistencia a la compresión del hormigón curado a los 28 días

RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN	28 días (kg/cm^2)
0% fibra	216.0288
0.25% fibra	186.2883
0.50% fibra	135.7928

Fuente: (Pilicita & Puluche, 2022)

Figura 48

Resultados de la resistencia a la compresión del hormigón con y sin adición de fibra de abacá



Fuente: (Pilicita & Puluche, 2022)

Interpretación: En la ***Figura 48*** se puede apreciar los resultados obtenidos de la resistencia a la compresión a los 28 días de curado, donde se nota que la mezcla patrón sin adición de fibra tiene una resistencia promedio de 216.0288 kg/cm^2, mientras que al incorporar 0.25% de fibra a la mezcla, se nota como la resistencia disminuye a 186.2883 kg/cm^2 lo cual representa un 13.77% menos a la mezcla patrón, por otra, parte las mezclas con 0.50% de fibra disminuyeron a 135.7928 kg/cm^2 es decir un 37.14% menos de la resistencia en comparación con la mezcla base, con esto se puede concluir que a medida que el volumen de fibra aumenta la resistencia disminuye debido a que la fibra de abacá es una fibra natural de un diámetro muy pequeño y a su vez no posee rigidez, por ende no aporta un aumento en la resistencia a la compresión y este valor se ve disminuido debido a que el volumen entre cemento y los agregados es ocupado también por la fibra y causa este efecto de perdida de resistencia y a medida que aumentamos más fibra este valor sigue disminuyendo, el aporte que da la fibra en este ensayo es que la falla no sea tan frágil y tengo una pequeña fracción de ductilidad debido a la adherencia entre la matriz cementante y la fibra, cabe recalcar que el valor máximo obtenido a la compresión corresponde a un f'c=216 kg/cm^2 y en la dosificación se realizó para 320 kg/cm^2 para poder obtener un valor de MR= 45 kg/cm^2, por lo tanto, será necesario realizar una corrección en la dosificación.

4.1.11. Resultados de la resistencia a la tracción por compresión diametral de las mezclas de hormigón

Tabla 59

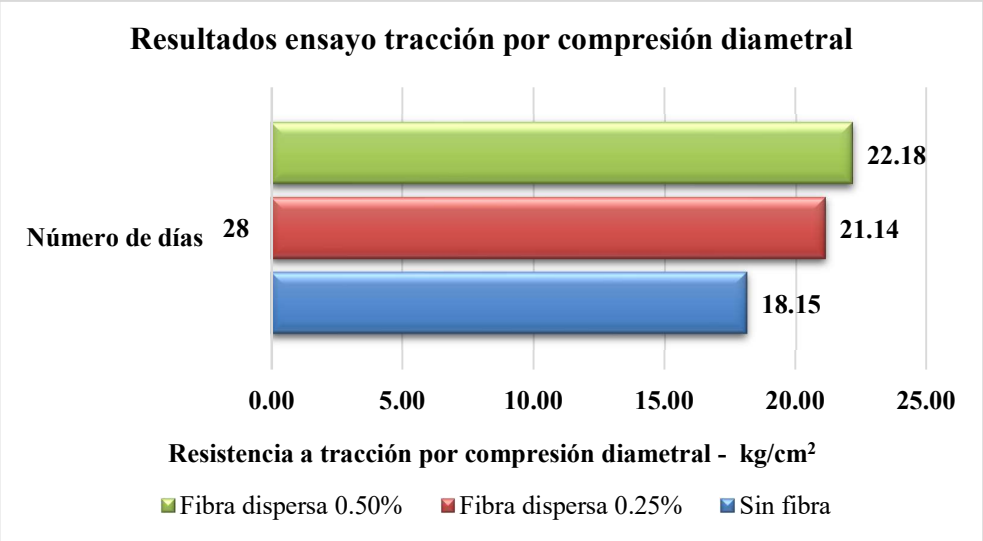
Resistencia a la tracción por compresión diametral 28 días

Descripción	Número de muestra	Resistencia a la tracción por compresión diametral (kg/cm^2)	Resistencia promedio (kg/cm^2)	Desviación Estándar (%)	Coeficiente de Variación (%)
Fibra 0%	1	19.06	18.15	0.85	4.70
	2	18.01			
	3	17.37			
Fibra dispersa 0.25%	1	21.50	21.14	0.46	2.19
	2	20.62			
	3	21.30			
Fibra dispersa 0.50%	1	22.31	22.18	0.53	2.41
	2	21.59			
	3	22.63			

Fuente: (Pilicita & Puluche, 2022)

Figura 49

Resultados ensayo tracción por compresión diametral



Fuente: (Pilicita & Puluche, 2022)

Interpretación: En la **Figura 49** se puede observar claramente un incremento en la resistencia a la tracción cuando se emplea fibra de abacá en un concreto simple. Dándonos un incremento del 16.51% cuando se coloca 0.25% de fibra de abacá en función del volumen de la muestra, y un incremento del 22.21 % con 0.50% de fibra. Esto se debe a que las fibras de abacá presentan una elevada resistencia a la tracción y por ende al colocarlo en el concreto como una mezcla monolítica se refleja un incremento.

4.1.12. Resultados del módulo de rotura (MR) de las mezclas de hormigón

4.1.12.1. Módulo de rotura de concreto simple con 0% de fibra de abacá.

Tabla 60

Módulo de rotura 7 días - Concreto simple con 0% de fibra

Número	Carga Máxima (KN)	Carga Máxima (N)	MR (MPa)	MR (kg/cm²)	MR mayor (kg/cm²)	MR de diseño (kg/cm²)
1	15.526	15526	2.0293	20.69		45
2	14.293	14293	1.8558	18.92	20.69	45
3	14.800	14800	1.9344	19.73		45
		Media (%)		19.78		
		Desviación Estándar (%)		0.89		
		Coeficiente de Variación (%)		4.48		

Fuente: (Pilicita & Puluche, 2022)

Tabla 61

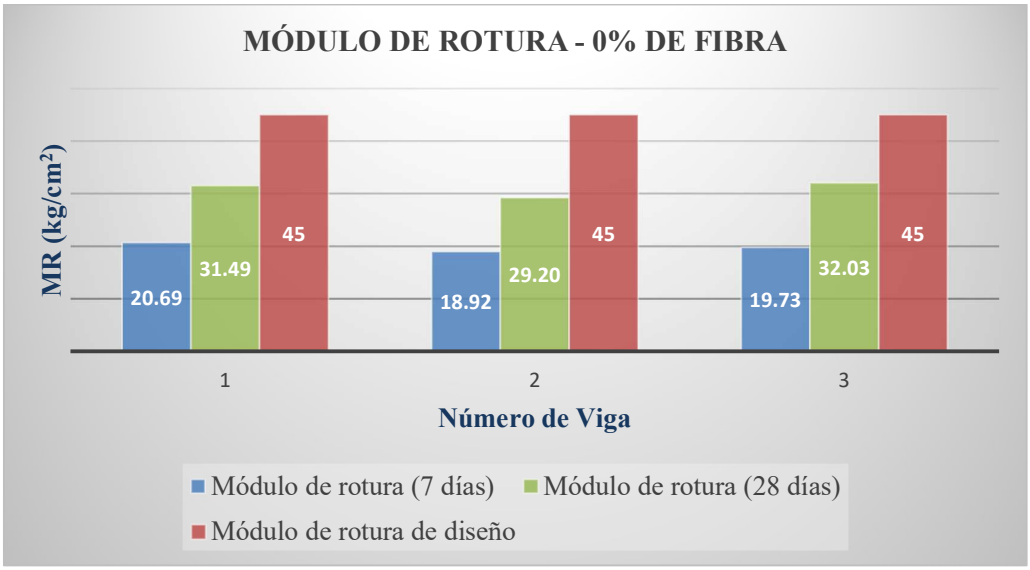
Módulo de rotura 28 días - Concreto simple con 0% de fibra

Número	Carga Máxima (KN)	Carga Máxima (N)	MR (MPa)	MR (kg/cm²)	MR mayor (kg/cm²)	MR de diseño (kg/cm²)
1	23.942	23942	3.09	31.49		45
2	22.056	22056	2.86	29.20	32.03	45
3	24.193	24193.2	3.14	32.03		45
		Media (%)		30.91		
		Desviación Estándar (%)		1.50		
		Coeficiente de Variación (%)		4.86		

Fuente: (Pilicita & Puluche, 2022)

Figura 50

Módulo de Rotura (MR) 7 y 28 días en comparación con MR de diseño (0% de fibra)



Fuente: (Pilicita & Puluche, 2022)

4.1.12.2. Módulo de rotura de concreto simple con 0.25% de fibra dispersa.

Tabla 62

Módulo de rotura 7 días - Concreto simple con 0.25% de fibra abacá

Número	Carga Máxima (KN)	Carga Máxima (N)	MR (MPa)	MR (kg/cm²)	MR mayor (kg/cm²)	MR de diseño (kg/cm²)	% de aumento de resistencia
1	15.018	15018	1.9118	19.49		45	
2	16.469	16469	2.1103	21.52	21.52	45	3.9939
3	15.381	15381	2.0237	20.64		45	
		Media (%)		20.55			

Desviación Estándar (%)	1.01
Coeficiente de Variación (%)	4.94

Fuente: (Pilicita & Puluche, 2022)

Tabla 63

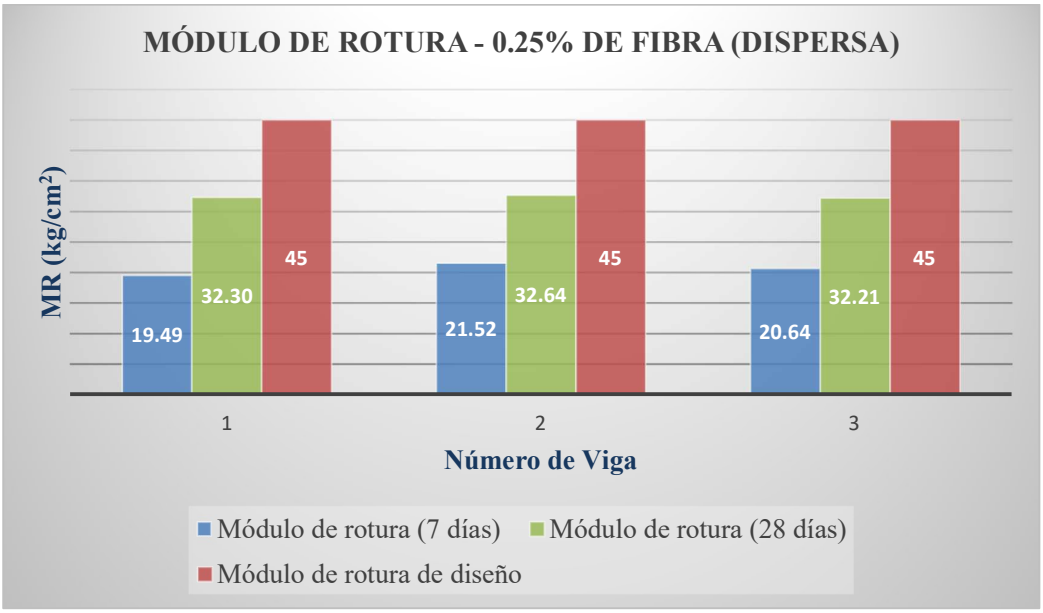
Módulo de rotura 28 días - Concreto simple con 0.25% de fibra dispersa

Número	Carga Máxima (KN)	Carga Máxima (N)	MR (MPa)	MR (kg/cm^2)	MR mayor (kg/cm^2)	MR de diseño (kg/cm^2)	% de aumento de resistencia
1	24.232	24232	3.17	32.30		45	
2	25.146	25146	3.20	32.64	32.64	45	1.9048
3	24.811	24811	3.16	32.21		45	
		Media (%)		32.38			
		Desviación Estándar (%)		0.23			
		Coeficiente de Variación (%)		0.71			

Fuente: (Pilicita & Puluche, 2022)

Figura 51

Módulo de Rotura (MR) 7 y 28 días en comparación con MR de diseño (0.25% de fibra dispersa)



Fuente: (Pilicita & Puluche, 2022)

4.1.12.3. Módulo de rotura de concreto simple con 0.25% de fibra longitudinal.

Tabla 64

Módulo de rotura 7 días - Concreto simple con 0.25% de fibra longitudinal

Número	Carga Máxima (KN)	Carga Máxima (N)	MR (MPa)	MR (kg/cm^2)	MR mayor (kg/cm^2)	MR de diseño (kg/cm^2)	% de aumento de resistencia
1	15.946	15946	2.0299	20.70		45	
2	15.236	15236	1.9523	19.91	22.00	45	6.3124
3	16.397	16397	2.1574	22.00		45	
Media (%)				20.87			
Desviación Estándar (%)				1.06			
Coeficiente de Variación (%)				5.06			

Fuente: (Pilicita & Puluche, 2022)

Tabla 65

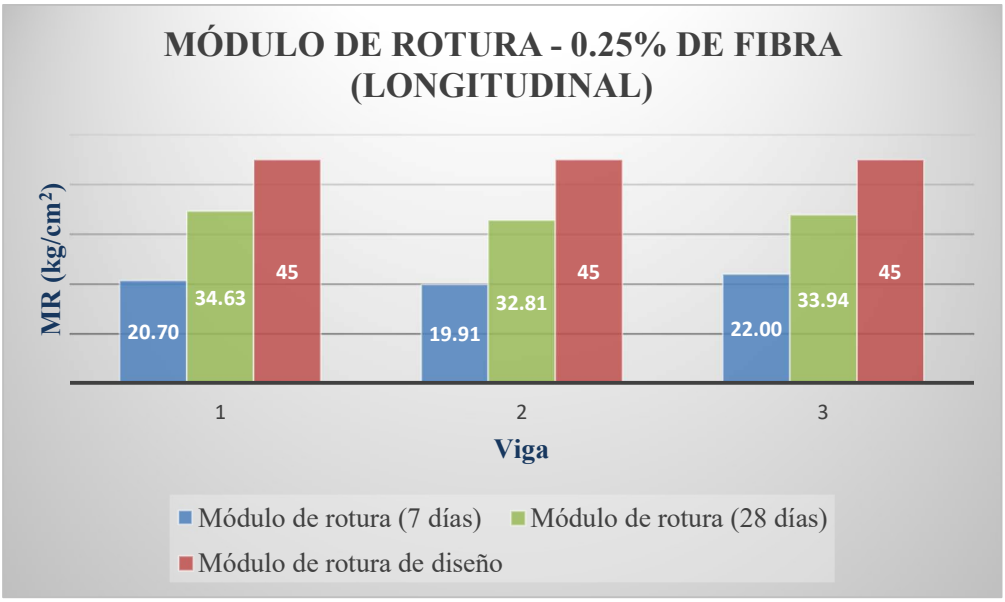
Módulo de rotura 28 días - Concreto simple con 0.25% de fibra longitudinal

Número	Carga Máxima (KN)	Carga Máxima (N)	MR (MPa)	MR (kg/cm^2)	MR mayor (kg/cm^2)	MR de diseño (kg/cm^2)	% de aumento de resistencia
1	25.983	25983	3.40	34.63		45	
2	24.781	24781	3.22	32.81	34.63	45	8.1108
3	25.466	25466	3.33	33.94		45	
Media (%)				33.79			
Desviación Estándar (%)				0.92			
Coeficiente de Variación (%)				2.72			

Fuente: (Pilicita & Puluche, 2022)

Figura 52

Módulo de Rotura (MR) 7 y 28 días en comparación con MR de diseño (0.25% de fibra longitudinal)



Fuente: (Pilicita & Puluche, 2022)

4.1.12.4. Módulo de rotura de concreto simple con 0.50% de fibra dispersa.

Tabla 66

Módulo de rotura 7 días - Concreto simple con 0.50% de fibra dispersa

Número	Carga Máxima (KN)	Carga Máxima (N)	MR (MPa)	MR (kg/cm²)	MR mayor (kg/cm²)	MR de diseño (kg/cm²)	% de aumento de resistencia
1	17.920	17920	2.2812	23.26		45	
2	17.195	17195	2.2034	22.47	23.26	45	12.4150
3	16.324	16324	2.1478	21.90		45	
		Media (%)		22.54			
		Desviación Estándar (%)		0.68			
		Coeficiente de Variación (%)		3.03			

Fuente: (Pilicita & Puluche, 2022)

Tabla 67

Módulo de rotura 28 días - Concreto simple con 0.50% de fibra dispersa

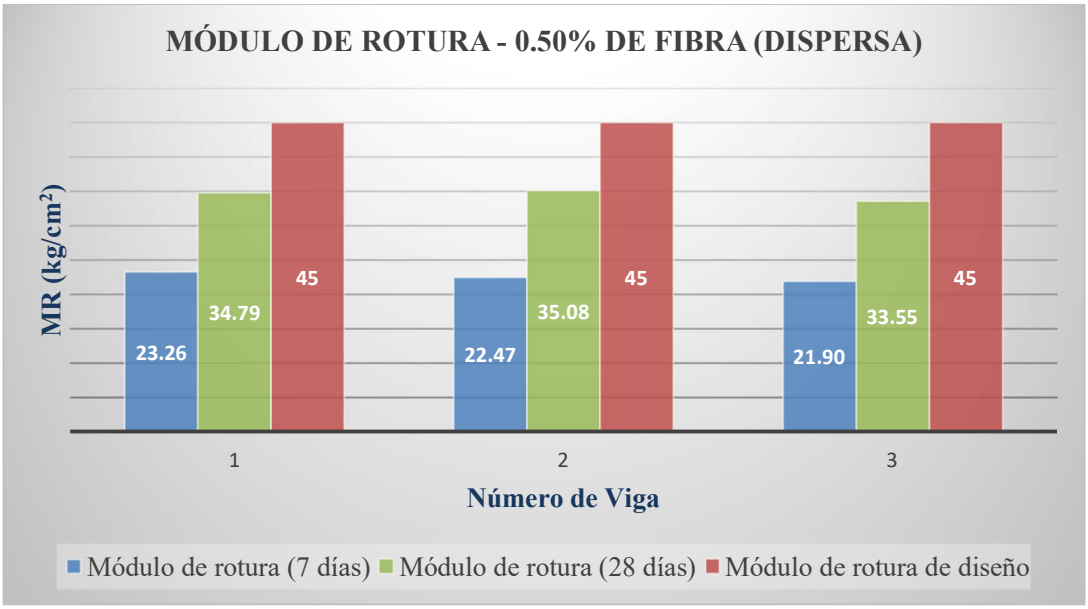
Número	Carga Máxima (KN)	Carga Máxima (N)	MR (MPa)	MR (kg/cm²)	MR mayor (kg/cm²)	MR de diseño (kg/cm²)	% de aumento de resistencia
1	25.756	25756	3.41	34.79	35.08	45	9.5235
2	26.149	26148.6	3.44	35.08		45	

3	25.003	25002.8	3.29	33.55	45
		Media (%)		34.47	
		Desviación Estándar (%)		0.82	
		Coeficiente de Variación (%)		2.37	

Fuente: (Pilicita & Puluche, 2022)

Figura 53

Módulo de Rotura (MR) 7 y 28 días en comparación con MR de diseño (0.50% de fibra dispersa)



Fuente: (Pilicita & Puluche, 2022)

4.1.12.5. Módulo de rotura de concreto simple con 0.50% de fibra longitudinal.

Tabla 68

Módulo de rotura 7 días - Concreto simple con 0.50% de fibra longitudinal

Número	Carga Máxima (KN)	Carga Máxima (N)	MR (MPa)	MR (kg/cm²)	MR mayor (kg/cm²)	MR de diseño (kg/cm²)	% de aumento de resistencia
1	16.420	16420	2.0903	21.31		45	
2	17.267	17267	2.2126	22.56	23.85	45	15.2469
3	17.775	17775	2.3387	23.85		45	
		Media (%)		22.57			
		Desviación Estándar (%)		1.27			
		Coeficiente de Variación (%)		5.61			

Fuente: (Pilicita & Puluche, 2022)

Tabla 69

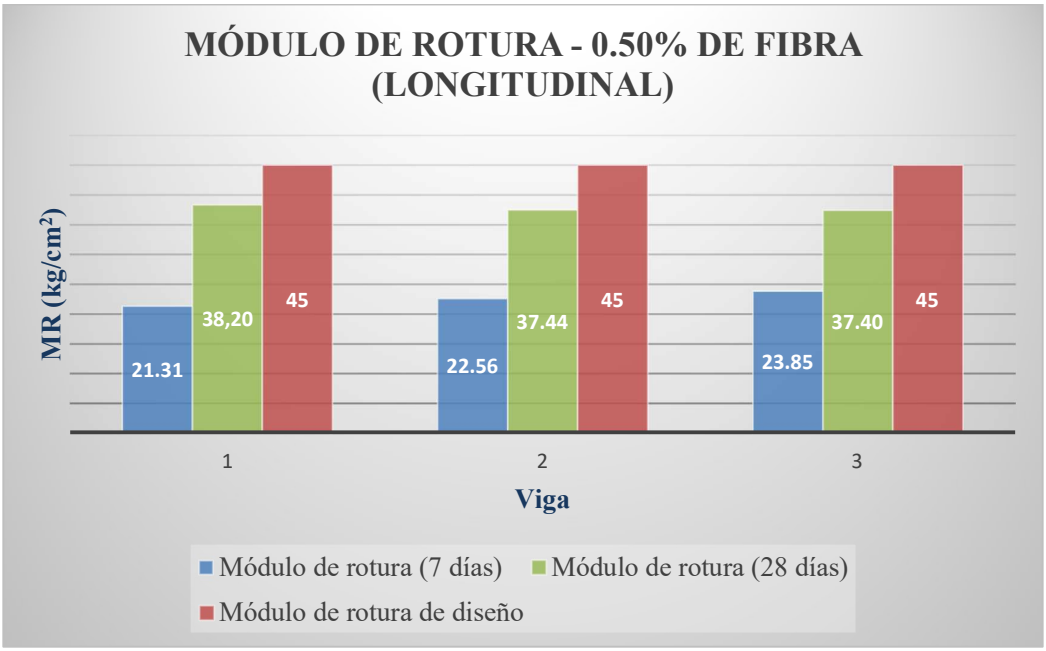
Módulo de rotura 28 días - Concreto simple con 0.50% de fibra longitudinal

Número	Carga Máxima (KN)	Carga Máxima (N)	MR (MPa)	MR (kg/cm²)	MR mayor (kg/cm²)	MR de diseño (kg/cm²)	% de aumento de resistencia
1	28.285	28285	3.75	38.21		45	
2	27.721	27721	3.67	37.44	38.20	45	19.261
3	27.695	27694.9	3.67	37.40		45	
		Media (%)		37.68			
		Desviación Estándar (%)		0.45			
		Coeficiente de Variación (%)		1.20			

Fuente: (Pilicita & Puluche, 2022)

Figura 54

Módulo de Rotura (MR) 7 y 28 días en comparación con MR de diseño (0.50% de fibra longitudinal)



Fuente: (Pilicita & Puluche, 2022)

4.1.13. Reajuste de la dosificación de mezclas de hormigón por el método de la densidad óptima

Para el reajuste de la dosificación por el método de la densidad óptima se basó en los datos generales de la **Tabla *51*** donde se presenta los resultados de las propiedades de los agregados y del cemento.

1) **Relación agua/cemento (W/C)**

W/C	0.50	-

La relación agua cemento se mantiene de la dosificación anterior y el valor fue obtenido de la **Tabla *52*** donde se presenta relaciones agua/cemento en función de la resistencia a la compresión requerida.

2) **Densidad real de la mezcla (DRM) de agregado fino con grueso**

$$DRM = \frac{DRA * POA + DRR * POR}{100}$$

DRM=	2.59	kg/dm^3

3) **Porcentaje óptimo de vacíos (%OV)**

$$\%OV = \frac{DRM - DOM}{DRM} * 100$$

%OV	24.77	%

4) **Cantidad de pasta (CP)**

La cantidad de pasta se refiere al agua y cemento en volumen. Para el diseño la fórmula que se utilizará es de 6 - 9 cm. La misma que se tomó de la **Tabla *53*** donde se presenta la cantidad de pasta en función del asentamiento.

$$CP = \%OV + 2\% + 8\% * \%OV$$

CP	28.75	%
CP	287.50	dm^3
INGRESE CP	450.00	dm^3

Para la corrección de la cantidad de pasta necesaria para poder obtener una resistencia a la compresión de 320 kg/cm^2 la misma que se realizó en conjunto con la ayuda del Ing. Óscar Cevallos, ya que con su gran experiencia en el tema nos orientó para corregir la dosificación y tener una mejor proporción de los agregados que conforman la mezcla de hormigón.

5) **Cantidad de cemento (C)**

$$CP = W + C$$
$$CP = \frac{W}{1} + \frac{C}{DRC}$$
$$CP = C * (\frac{W}{C} + \frac{1}{DRC})$$

$$C = \frac{CP}{\frac{W}{C} + \frac{1}{DRC}}$$

C	533.40	kg por cada m^3 de concreto

6) Cantidad de agua (W)

$$Cantidad\ de\ agua = Dosificación\ de\ agua * Cantidad\ de\ cemento$$

$$W = \frac{W}{C} * C$$

W	266.70	kg o litro por cada m^3 de concreto

7) Cantidad de agregados

Cantidad de Arena (A)

$$A = (1000 - CP) * DRA * \frac{POA}{100}$$

A	634.04	kg por cada m^3 de concreto

Cantidad de Ripio (R)

$$R = (1000 - CP) * DRR * \frac{POR}{100}$$

R	791.56	kg por cada m^3 de concreto

8) Dosificación al peso

$$Dosificación\ de\ un\ material\ (W, A, R) = \frac{Cantidad\ del\ materia\ (W,\ A, R) * 1m^3}{Cantidad\ de\ Cemento\ (C)}$$

Tabla 70

Dosificación al peso sin corregir con humedad de agregados

DESCRIPCIÓN	PESOS PARA 1 m^3		PROPORCIÓN
Cemento	533.40	Kg	1
Agua	266.70	kg o L	0.50
Arena	634.04	kg	1.19
Ripio	791.56	kg	1.48

Fuente: (Pilicita & Puluche, 2022)

9) Corrección de humedad a la dosificación

$$Arena = Peso(arena) * \frac{100 + \%humedad\ (arena)}{100 + \%absorción\ (arena)}$$

% humedad ARENA	0.0822	%
% absorción ARENA	0.032	%
A	634.36	kg por cada m^3 de concreto

$$Ripio = Peso(ripio) * \frac{100 + \%humedad\ (ripio)}{100 + \%absorción\ (ripio)}$$

% humedad RIPIO	0.0138	%
% absorción RIPIO	0.0236	%
R	791.48	kg por cada m^3 de concreto

AGUA ANTES DE CORRECCIÓN	266.70	kg o litro por cada m^3 de concreto

$$Agua = Masa\ (arena) * \frac{\%\ humedad\ (arena) - \%\ absorción\ (arena)}{100 + \%\ absorción\ (arena)}$$

AGUA CONTENIDA EN ARENA	-0.32	kg por cada m^3 de concreto

$$Agua = Masa\ (ripio) * \frac{\%\ humedad\ (ripio) - \%\ absorción\ (ripio)}{100 + \%\ absorción\ (ripio)}$$

AGUA CONTENIDA EN RIPIO	0.08	kg por cada m^3 de concreto

CANTIDAD DE AGUA CORREGIDA	266.46	kg o litro por cada m^3 de concreto

Tabla 71

Dosificación reajustada al peso corregida con la humedad que presentan los agregados

DESCRIPCIÓN	PESOS PARA 1 m^3		PROPORCIÓN
Cemento	533.40	kg	1
Agua	266.46	kg o L	0.50
Arena	634.36	kg	1.19
Ripio	791.48	kg	1.48

Fuente: (Pilicita & Puluche, 2022)

Para la dosificación reajustada se consideró el uso del acelerante Sika 3, ya que con los resultados de la primera dosificación se pudo notar que a los 7 días la resistencia a la flexión presento un 64.60% de la resistencia que se obtuvo a los 28 días, con el uso del acelerante a los 7 días se pudo obtener un 80% de la resistencia a la flexión de diseño, por lo que la vía a los 7 días puede ser habilitada como lo establece la Norma Ecuatoriana Vial (NEVI 12).

A continuación, se presenta la dosificación del acelerante Sika 3 correspondiente a 1 unidad de acelerante por 4 unidades de agua.

Tabla 72

Dosificación reajustada: agua y acelerante

DESCRIPCIÓN	PESOS PARA 1 m^3		PROPORCIÓN EN PESO
ACELERANTE	53.29	kg	1
AGUA	213.17	kg	4

Fuente: (Pilicita & Puluche, 2022)

La cantidad de fibra de abacá para la dosificación reajustada corresponde únicamente al 0.50% de fibra, ya que demostró mejores resultados en comparación con el de 0.25%.

Tabla 73

Dosificación de fibra para viga y cilindro

Descripción		Dimensiones (cm)	Volumen (m^3)	Densidad fibra (kg/m^3)	Peso fibra por molde (kg)	Peso fibra por molde (g)
0.50% Fibra abacá	Viga	15 x 15 x 53	0.0119	1255.25	0.0748	74.84
	Cilindro	15 x 30	0.0053	1255.25	0.0333	33.27

Fuente: (Pilicita & Puluche, 2022)

Tabla 74

Dosificación de fibra para 1 m3

Descripción	Pesos para 1 m^3	
0.50% Fibra abacá	6.28	kg

Fuente: (Pilicita & Puluche, 2022)

4.1.14. Resultados de la resistencia a la compresión de mezclas de hormigón con base en la dosificación reajustada-f'c=320 kg/cm^2

Tabla 75

Resistencia a la compresión de cilindros de hormigón a los 28 días

Resistencia a la compresión-0% De Fibra	28 días (kg/cm^2)
Probeta 1	346.60
Probeta 2	321.23
Probeta 3	320.39
Media (%)	320.81
Desviación Estándar (%)	0.59
Coeficiente de Variación (%)	0.18

Fuente: (Pilicita & Puluche, 2022)

Interpretación: De la **Tabla *75*** se puede observar que la resistencia a la compresión a los 28 días con el reajuste de la dosificación llego a la resistencia esperada de 320 kg/cm^2 y solo una de las probetas dio una resistencia superior, pero como dos resultados son parecidos no se le consideró al valor mayor para los cálculos de desviación y coeficiente de variación para que se encuentre dentro del rango que establece la normativa.

4.1.15. Resultados del módulo de rotura (MR) de las mezclas de hormigón en base a la dosificación reajustada

Con la dosificación reajustada se obtuvo los siguientes resultados:

Tabla 76

Módulo de rotura con dosificación reajustada 7 días - Concreto simple (Muestra de control)

Número	Carga Máxima (KN)	Carga Máxima (N)	MR (MPa)	MR (kg/cm^2)	MR mayor (kg/cm^2)	MR de diseño (kg/cm^2)
1	26.619	26619	3.5256	35.95	35.95	45
2	26.042	26042	3.4492	35.17		45
Media (%)				35.56		
Desviación Estándar (%)				0.55		
Coeficiente de Variación (%)				1.55		

Fuente: (Pilicita & Puluche, 2022)

Tabla 77

Módulo de rotura con dosificación reajustada 14 días - Concreto simple (Muestra de control)

Número	Carga Máxima (KN)	Carga Máxima (N)	MR (MPa)	MR (kg/cm^2)	MR mayor (kg/cm^2)	MR de diseño (kg/cm^2)
1	31.830	31830	4.22	42.99	43.30	45
2	32.060	32060	4.25	43.30		45
Media (%)				43.15		
Desviación Estándar (%)				0.22		
Coeficiente de Variación (%)				0.51		

Fuente: (Pilicita & Puluche, 2022)

En la ***Tabla 78*** se puede observar como la resistencia requerida es mayor a la resistencia de diseño a los 28 días.

Tabla 78

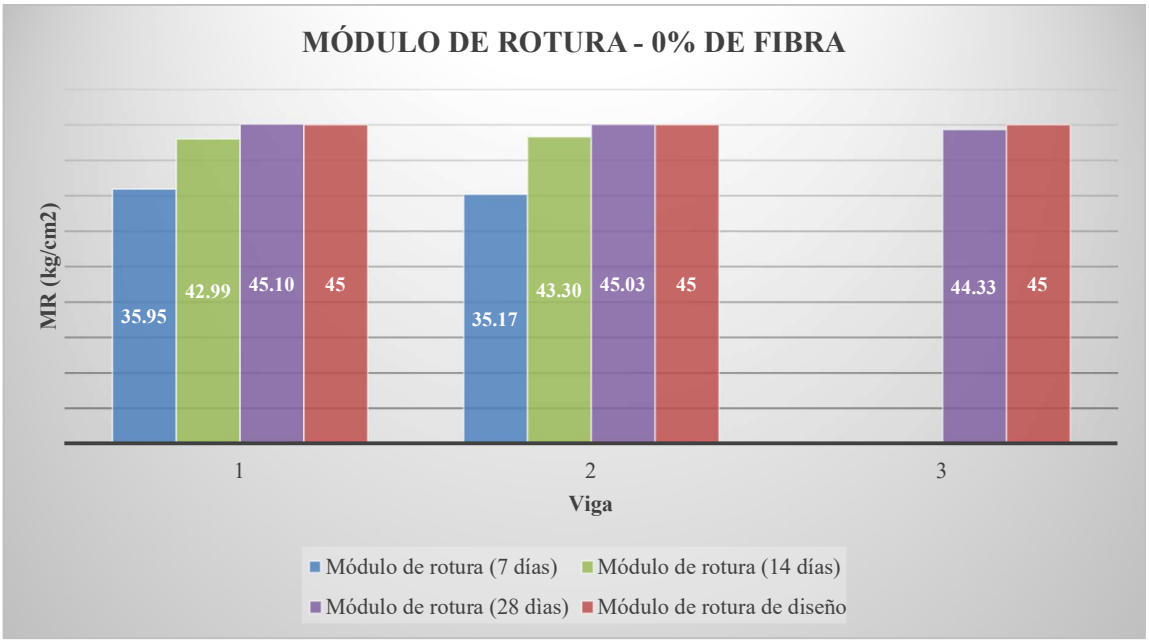
Módulo de rotura con dosificación reajustada 28 días - Concreto simple (Muestra de control)

Número	Carga Máxima (KN)	Carga Máxima (N)	MR (MPa)	MR (kg/cm^2)	MR mayor (kg/cm^2)	MR de diseño (kg/cm^2)
1	33.390	33390	4.42	45.10		45
2	33.340	33340	4.42	45.03	45.10	45
3	32.820	32820	4.35	44.33		45
Media (%)				44.82		
Desviación Estándar (%)				0.43		
Coeficiente de Variación (%)				0.95		

Fuente: (Pilicita & Puluche, 2022)

Figura 55

Módulo de Rotura (MR) 7, 14 y 28 días concreto simple sin adición de fibra en comparación con MR de diseño



Fuente: (Pilicita & Puluche, 2022)

Tabla 79

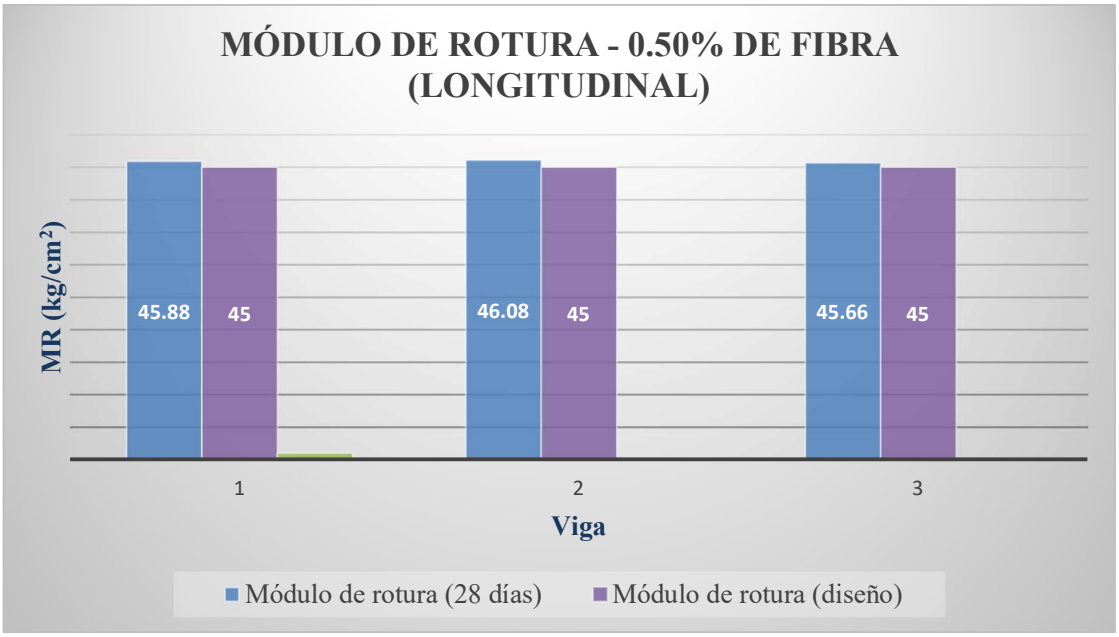
Módulo de rotura con dosificación reajustada 28 días - Concreto simple con adición de 0.50% de fibra ubicada longitudinalmente

Número	Carga Máxima (KN)	Carga Máxima (N)	MR (MPa)	MR (kg/cm^2)	MR mayor (kg/cm^2)	MR de diseño (kg/cm^2)	% de aumento de resistencia
1	33.970	33970	4.50	45.88		45	
2	34.120	34120	4.52	46.08	46.08	45	2.1863
3	33.810	33810	4.48	45.66		45	
		Media (%)		45.88			
		Desviación Estándar (%)		0.21			
		Coeficiente de Variación (%)		0.46			

Fuente: (Pilicita & Puluche, 2022)

Figura 56

Módulo de Rotura (MR) 28 días concreto simple con adición del 0.50% de fibra en comparación con MR de diseño



Fuente: (Pilicita & Puluche, 2022)

4.1.16. Diseño del espesor de pavimento rígido con adición de fibra de abacá.

Se recalculó los espesores con los valores de módulo de rotura obtenidos en el laboratorio como se muestra en ***Tabla 80*** *y* ***Tabla 81***.

Tabla 80

Cálculo de espesor por el método AASHTO-93 para pavimento rígido con adición de fibra.

DATOS		
ESAL´s	97’607 439	-
Z_R - Coeficiente Estadístico De Desviación Estándar Normal	-1.282	-
So - Desviación Estándar Combinada	0.350	-
ΔPSI - Variación de Serviciabilidad	1.85	-
Pf - Serviciabilidad Final o Terminal	2.25	-
S'c – MR	53.67	kg/cm^2
S'c – MR	763.18	PSI
Cd - Coeficiente de drenaje	1.00	-
J - Coeficiente de trasferencia de carga	2.70	-
Ec - Módulo de elasticidad	3819347.32	PSI
K - Módulo efectivo de reacción	330.00	PSI
RESULTADO		
D (Espesor)	11.42 29.00	in cm

Fuente: (Pilicita & Puluche, 2022)

Tabla 81

Cálculo de espesor por el método AASHTO-93 para pavimento rígido con adición de fibra y acelerante Sika-3

DATOS		
ESAL´s	97’607 439	-
Z_R - Coeficiente Estadístico De Desviación Estándar Normal	-1.282	-
So - Desviación Estándar Combinada	0.350	-
ΔPSI - Variación de Serviciabilidad	1.85	-
Pf - Serviciabilidad Final o Terminal	2.25	-
S'c – MR	45.99	kg/cm^2
S'c – MR	653.95	PSI
Cd - Coeficiente de drenaje	1.00	-
J - Coeficiente de trasferencia de carga	2.70	-
Ec - Módulo de elasticidad	3819347.32	PSI
K - Módulo efectivo de reacción	330.00	PSI
RESULTADO		
D (Espesor)	12.45	in
	31.61	cm

Fuente: (Pilicita & Puluche, 2022)

4.1.17. Análisis económico de un concreto con adición de fibra de abacá

Tabla 82

Precios unitarios de los materiales que conforman la mezcla de hormigón

MATERIAL	PRECIO		UNIDAD
Cemento	$	7.80	Saco de 50 kg
Arena	$	14.00	1 m^3
Grava	$	8.00	1 m^3
Agua	$	0.83	1 m^3
Fibra	$	2.50	kg
Acelerante	$	7.15	Envase de 4 kg
Parafina solida	$	3.57	kg

Fuente: (Pilicita & Puluche, 2022)

Tabla 83

Precio para 1m^3 de hormigón sin fibra con dosificación f’c=210kg/cm^2

DESCRIPCIÓN	PESOS PARA 1 m^3		PRECIO
Cemento	343.7475	kg	$ 54.6000

Agua	171.5629	kg o L	$ 0.2100
Arena	818.8987	kg	$ 7.0000
Ripio	1021.7319	kg	$ 4.0000
	TOTAL=		$ 65.8100

Fuente: (Pilicita & Puluche, 2022)

Tabla 84

Precio para 1m^3 de hormigón con fibra al 0.5% con dosificación f'c=210 kg/cm^2-Proveedor-Productores del sector

DESCRIPCIÓN	PESOS PARA 1 m^3		PRECIO
Cemento	343.7475	kg	$ 54.6000
Agua	171.5629	kg o L	$ 0.2100
Arena	818.8987	kg	$ 7.0000
Ripio	1021.7319	kg	$ 4.0000
Fibra	6.2800	kg	$ 15.7000
Parafina solida	3.0000	kg	$ 10.7100
	TOTAL=		$ 92.2200

Fuente: (Pilicita & Puluche, 2022)

Tabla 85

Precio para 1m^3 de hormigón sin fibra con dosificación f'c=320 kg/cm^2

DESCRIPCIÓN	PESOS PARA 1 m^3		PRECIO
Cemento	533.4012	Kg	$ 85.8000
Agua	213.1700	kg o L	$ 0.2100
Arena	634.3582	Kg	$ 3.5000
Ripio	791.4824	Kg	$ 4.0000
Acelerante	53.2900	Kg	$ 100.1000
	TOTAL=		$ 193.6100

Fuente: (Pilicita & Puluche, 2022)

Tabla 86

Precio para 1m^3 de hormigón con fibra al 0.5% con dosificación f'c=320 kg/cm^2-Proveedor-Productores del sector

DESCRIPCIÓN	PESOS PARA 1 m^3		PRECIO
Cemento	533.4012	kg	$ 85.8000
Agua	213.1700	kg o L	$ 0.2100
Arena	634.3582	kg	$ 3.5000
Ripio	791.4824	kg	$ 4.0000
Acelerante	53.2900	kg	$ 100.1000
Fibra	6.2800	kg	$ 15.7000
Parafina solida	3.0000	kg	$ 10.7100

	TOTAL=	$ 220.0200

Fuente: (Pilicita & Puluche, 2022)

Tabla 87

Precio para 1m³ de hormigón sin fibra con dosificación f'c=320 kg/cm² sin acelerante

DESCRIPCIÓN	PESOS PARA 1 m³		PRECIO
Cemento	533.4012	Kg	$ 85.8000
Agua	213.1700	kg o L	$ 0.2100
Arena	634.3582	Kg	$ 3.5000
Ripio	791.4824	Kg	$ 4.0000
	TOTAL=		$ 93.5100

Fuente: (Pilicita & Puluche, 2022)

Tabla 88

Precio para 1m³ de hormigón con fibra al 0.5% con dosificación f'c=320 kg/cm² sin acelerante-Proveedor-Productores del sector

DESCRIPCIÓN	PESOS PARA 1 m³		PRECIO
Cemento	533.4012	kg	$ 85.8000
Agua	213.1700	kg o L	$ 0.2100
Arena	634.3582	kg	$ 3.5000
Ripio	791.4824	kg	$ 4.0000
Fibra	6.2800	kg	$ 15.7000
Parafina solida	3.0000	kg	$ 10.7100
	TOTAL=		$ 119.9200

Fuente: (Pilicita & Puluche, 2022)

Interpretación: De la **Tabla *83*** a la **Tabla *88*** se presenta los precios para 1m³ de hormigón simple y con adición de fibra, en la primera parte se encuentran las tablas con la primera dosificación que se llegó a un f'c= 210 kg/cm², siendo el costo de $ 65.81 para un hormigón simple, la misma dosificación pero con la adición de fibras en un 0.5% al volumen, obtenidas por parte de productores del sector, se tiene un costo de $ 92.22, siendo el incremento de $ 26.41 en comparación al hormigón simple, en la segunda parte se muestra los precios para 1m³ de hormigón con la dosificación reajustada para un f'c= 320kg/cm², siendo el costo de $ 193.61 para un hormigón simple, pero con adición de acelerante, el costo del hormigón sin acelerante es de $ 93.51 con una diferencia de $ 100.10, el precio del hormigón con la adición de fibra al 0.5% de proveedor los productores del sector y con acelerante es de $ 220.02, los precios sin ocupar acelerante serian de $ 119.92, donde se puede apreciar que el incremento del hormigón con fibra es de $ 26.41 en comparación al hormigón simple y los beneficios que se tiene es un incremento del 19.26% en la resistencia del módulo de rotura. Cabe recalcar que el uso del acelerante será indispensable solo en los

casos en el que el proyecto sea de gran importancia y se requiera su habilitación lo más pronto posible, de no ser el caso no se debe ocupar, ya que el costo por $1m^3$ es de $ 100.10 solo en acelerante, que en grandes longitudes de vía ya representa un costo bastante elevado.

4.2. Discusión

4.2.1. Caracterización de las propiedades físicas de la fibra de abacá

Las propiedades que tendrá la fibra de abacá dependerán principalmente de la madurez que tenga la misma, el lugar donde se cultiva, su método de extracción y la calidad de esta, los valores que se obtuvieron en la presente investigación fueron con base en los ensayos que se podían realizar en la UNACH debido a la disponibilidad de los equipos, otros resultados fueron tomados de investigaciones enfocadas en las propiedades físicas y mecánicas de la fibra de abacá.

- La densidad de la fibra de abacá obtenida en el laboratorio de la UNACH es de 1.26 g/cm^3, en la investigación llevada a cabo por Salas (2009) la densidad es de 1.3 g/cm^3 con lo cual se puede concluir que los resultados son similares y son correctos.
- La densidad lineal fue de 57.39 g/km.
- El porcentaje de absorción de la fibra es de 70.37%.
- El diámetro de la fibra en las calidades 2, 3, 4 y 5 varía entre 151.4 y 284 μm según el estudio realizado por (Salas, 2009).

4.2.2. Número de ejes equivalentes

El cálculo del número de ejes equivalentes es un dato indispensable al momento de realizar el diseño del espesor de la losa y para poder valorar la resistencia a la flexión (MR) que necesita nuestro pavimento rígido, en la ***Tabla 44*** y ***Tabla 45*** se presenta los resultados del cálculo del número de ejes equivalentes considerando el tránsito de la Av. Pedro Vicente y Av. Monseñor Leónidas Proaño, en el sector denominado "Media Luna", cabe recalcar que estos datos del conteo vehicular fueron tomados de la investigación de Orozco & Riera (2022).

El valor del número de ejes equivalentes calculado es de 97 607 439, si observamos la ***Tabla 1*** y ***Tabla 5*** podemos ver que se encuentra dentro de una categoría de tráfico T6 que es de gran flujo vehicular y le corresponde un valor de MR de 4.5 MPa para poder resistir la demanda vehicular de ese tipo de vía.

4.2.3. Espesor de la losa

Con el método AASHTO-93 después de los cálculos respectivos se determinó un espesor de 32 cm, por otro lado, el método INVIAS un espesor de 26 cm existiendo una diferencia de 6 cm entre estos dos métodos, esto se debe a que la ecuación propuesta por la AASHTO tiene varios años de desactualización, lo que provoca que el espesor de la losa sea mayor, por otro lado, el manual del INVIAS esta más actualizado y se han llevado a cabo varios ensayos para poder generar las tablas donde se expresan los espesores acorde al nivel

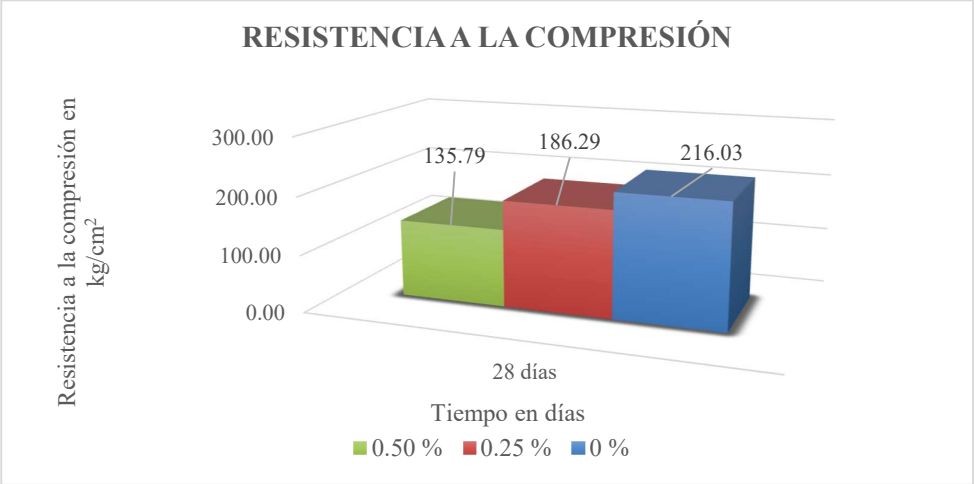
de tráfico, características del pavimento y tipos de suelos que se asemejan a nuestro medio y es por ello que los espesores son menores para generar economía y serviciabilidad.

4.2.4. Resistencia a la compresión

Para poder analizar la incidencia de la fibra en la resistencia a la compresión, se tomará a los cilindros al 0% de fibra como el valor del 100% de la resistencia para luego compararlas con los cilindros al 0.25 y 0.50% de fibra con base al volumen.

Figura 57

Resistencia a la compresión-28 días



Fuente: (Pilicita & Puluche, 2022)

Tabla 89

Porcentaje de resistencias a la compresión en base al porcentaje de fibra

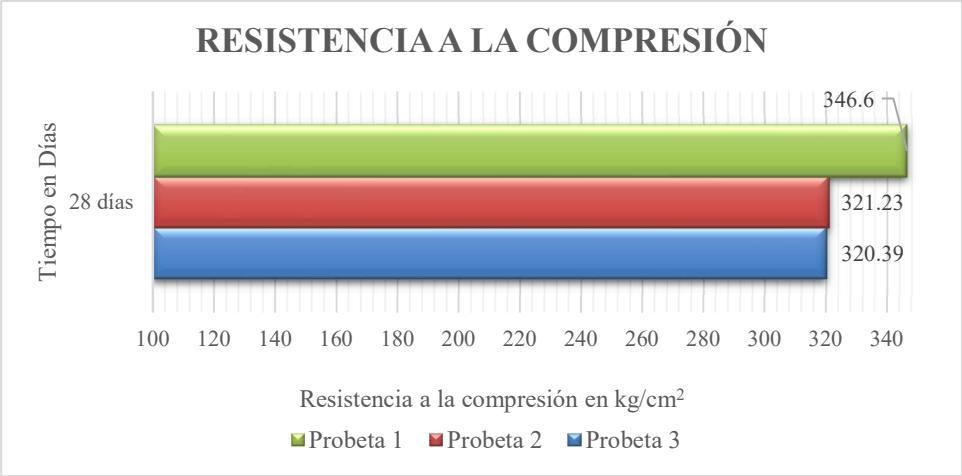
	fibra 0%	**fibra 0.25%**	**fibra 0.50%**
Resistencia(kg/cm^2)	216.03	186.29	135.79
%	100	86	63

Fuente: (Pilicita & Puluche, 2022)

Como se puede observar en la **Tabla *89***, las resistencias a la compresión con la adición de fibras de abacá en el hormigón, disminuyen a medida que el porcentaje de fibra aumenta, pero de esto debemos destacar un aspecto muy importante, el cual es que la fibra ocasiona que los cilindros al ser ensayados no tengan una falla explosiva sino que la adherencia que se genera entre la fibra y la matriz, hace que el hormigón tenga mayor ductilidad a pesar de tener menores resistencias.

Figura 58

Resistencia a la compresión a los 28 días con base en la dosificación reajustada



Fuente: (Pilicita & Puluche, 2022)

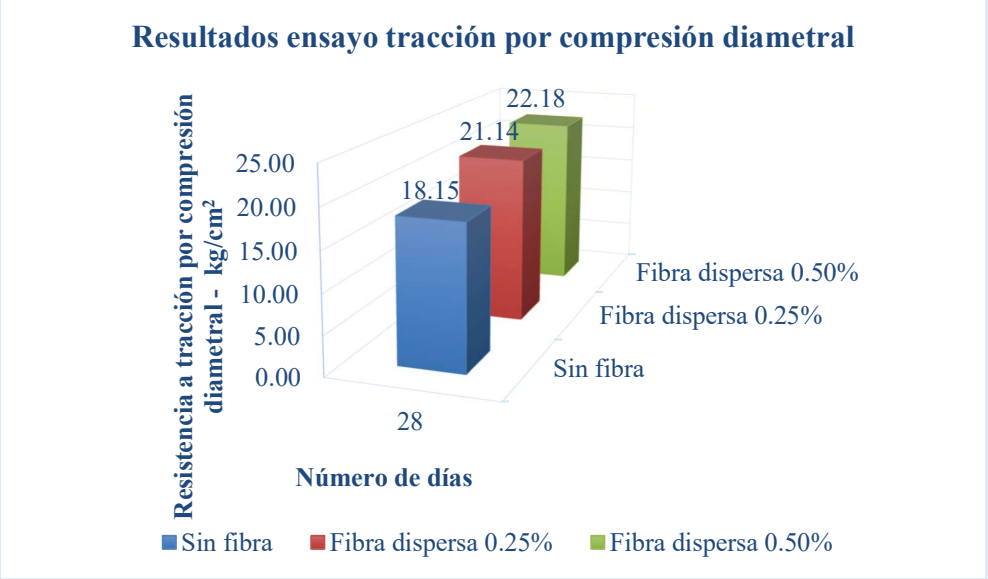
Como se puede observar en la **Figura *58***, luego de modificar la dosificación por el método de la densidad óptima, ya se llegó a la resistencia esperada de diseño de f'c=320kg/cm^2 para cumplir con el módulo de rotura requerido de 45 kg/cm^2, por otro lado, cabe mencionar que no se realizó muestras con fibra dispersa con la dosificación modificada, ya que se conoce que la fibra reduce la resistencia a la compresión.

4.2.5. Resistencia a la tracción indirecta

En la ***Figura 59*** se puede observar la resistencia a la tracción por compresión diametral cuando se coloca diferentes porcentajes de fibra de abacá, cabe recordar que para cada muestra se realizó 3 cilindros y se tomó la resistencia promedio.

Figura 59

Resultados ensayo tracción por compresión diametral



Fuente: (Pilicita & Puluche, 2022)

Tabla 90

Resistencia a la tracción por compresión diametral 28 días

	fibra 0%	fibra 0.25%	fibra 0.50%
Resistencia(kg/cm^2)	18.15	21.14	22.18
%	100	116.51	122.21

Fuente: (Pilicita & Puluche, 2022)

En la ***Tabla 90*** se puede observar claramente un incremento en la resistencia a la tracción. Hasta en un 22.21% con la adición del 0.50% de fibra de abacá en el concreto simple. Esto se debe a que las fibras de abacá presentan una elevada resistencia a la tracción y por ende al colocarlo en el concreto como una mezcla monolítica se refleja un incremento.

4.2.6. Resistencia a la flexión (Módulo de rotura).

4.2.6.1. Módulo de rotura primera dosificación.

En la **Tabla *91*** se muestra los resultados obtenidos del módulo de rotura en vigas prismáticas a los 7 días en diferentes porcentajes de fibra tanto dispersa como longitudinal, en primera instancia las vigas ensayadas a los 7 días sin adición de fibra presentan resistencias de 20.69 kg/cm^2 mientras que las vigas con porcentaje de 0.25% de fibra dispersa presentaron un ligero aumento del 3.99% de la resistencia, llegando a 21.52 kg/cm^2, por otra parte, las que tenían la fibra longitudinal presentaron un aumento de 6.31%, llegando a 22 kg/cm^2, observando a primera vista que al colocar longitudinalmente la fibra se obtiene un poco más de resistencia, las vigas con 0.5% de fibra dispersa alcanzaron una resistencia de 23.26 kg/cm^2 que representa el 12.42% de aumento de módulo de rotura, la fibra longitudinal al 0.5% llego a una resistencia de 23.85 kg/cm^2 que es el 15.25% de aumento en comparación con la viga de control

Tabla 91

Resumen ensayos del módulo de rotura a los 7 días

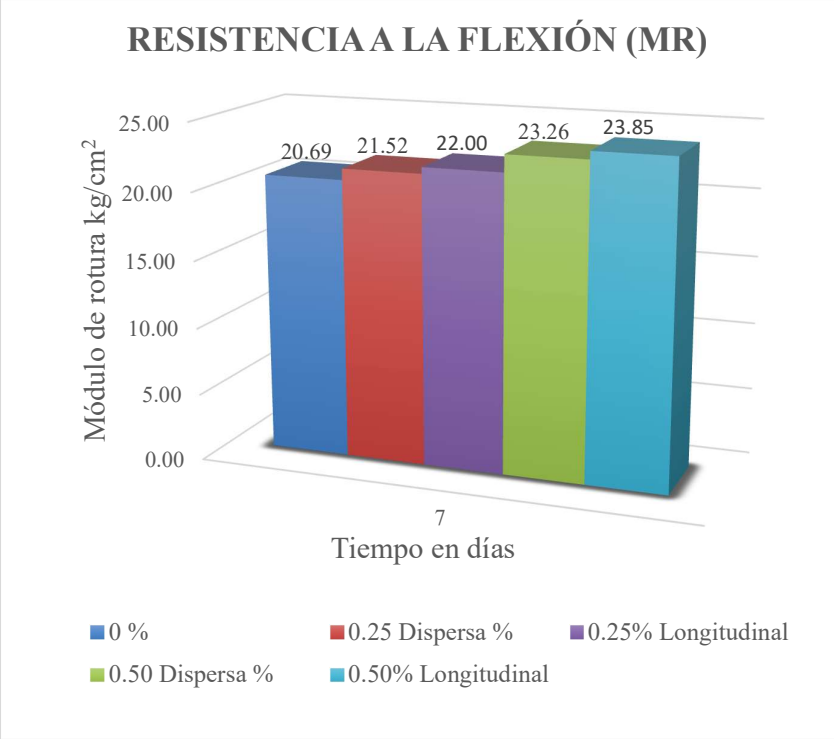
Descripción	Número de muestra	Módulo de rotura o resistencia a la flexión (kg/cm^2)	Resistencia mayor (kg/cm^2)	Resistencia promedio (kg/cm^2)	Desviación Estándar (%)	Coeficiente de Variación (%)	Incremento de resistencia con respecto a la muestra de control
Fibra 0% - Muestra de control	1	20.69	20.69	19.78	0.89	4.48	-
	2	18.92					
	3	19.73					
Fibra dispersa 0.25%	1	19.49	21.52	20.55	1.01	4.94	3.99
	2	21.52					
	3	20.64					
	1	23.26	23.26	22.54	0.68	3.03	12.42

Fibra dispersa 0.50%	2 3	22.47 21.90					
Fibra longitudinal 0.25%	1 2 3	20.70 19.91 22.00	22.00	20.87	1.06	5.06	6.31
Fibra longitudinal 0.50%	1 2 3	21.31 22.56 23.85	23.85	22.57	1.27	5.61	15.25

Fuente: (Pilicita & Puluche, 2022)

Figura 60

Resultado del módulo de rotura de vigas a diferentes porcentajes (7 días)



Fuente: (Pilicita & Puluche, 2022)

Tabla 92

Resumen ensayos del módulo de rotura a los 28 días

Descripción	Número de muestra	Módulo de rotura o resistencia a la flexión (kg/cm^2)	Resistencia mayor (kg/cm^2)	Resistencia promedio (kg/cm^2)	Desviación Estándar (%)	Coeficiente de Variación (%)	Incremento de resistencia con respecto a la muestra de control

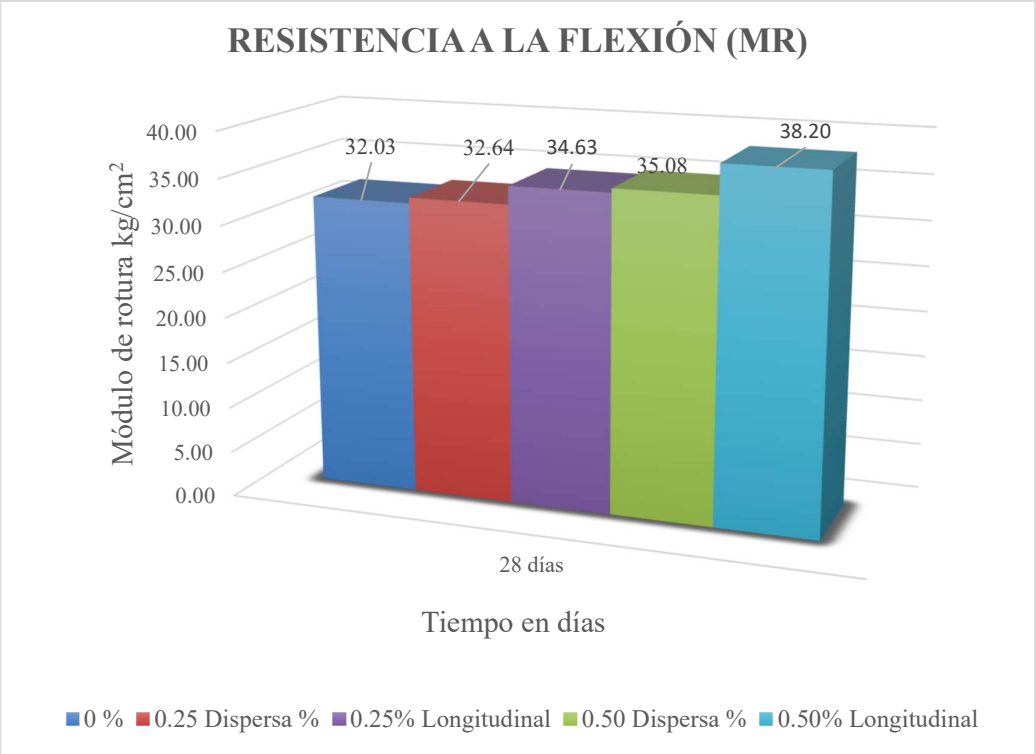
Fibra 0% - Muestra de control	1	31.49	32.03	30.91	1.50	4.86	-
	2	29.20					
	3	32.03					
Fibra dispersa 0.25%	1	32.30	32.64	32.38	0.23	0.71	1.90
	2	32.64					
	3	32.21					
Fibra dispersa 0.50%	1	34.79	35.08	34.47	0.82	2.37	9.52
	2	35.08					
	3	33.55					
Fibra longitudinal 0.25%	1	34.63	34.63	33.79	0.92	2.72	8.11
	2	32.81					
	3	33.94					
Fibra longitudinal 0.50%	1	38.20	38.20	37.68	0.45	1.20	19.26
	2	37.44					
	3	37.40					

Fuente: (Pilicita & Puluche, 2022)

En la **Figura *61*** se muestra los resultados obtenidos del módulo de rotura en vigas prismáticas a los 28 días, las vigas sin fibra llegaron a una resistencia de 32.03 kg/cm^2 que no es la resistencia de diseño esperada por lo que se fue necesario un reajuste en la dosificación para obtener la resistencia de diseño esperada en el trabajo, al ensayar las vigas con 0.25% de fibra dispersa llegaron a una resistencia de 32.64 kg/cm^2 que representa el 1.91% de aumento de módulo de rotura, si bien hubo un ligero aumento en la resistencia, no fue igual que a los 7 días que aumentó un 3.99% debido a que a la fibra al estar dispersa dentro del núcleo de hormigón no tiene suficiente capacidad de soportar carga y se quiebran pronto los hilos de fibra de abacá, esto se lo puede notar debido a que al colocar la fibra longitudinalmente en la base esta tiene mayor capacidad de soportar carga porque están las fibras unidas unas a otras y con una mayor longitud, por ellos al 0.25% de fibra longitudinal se tiene una resistencia de 34.63 kg/cm^2 que representa un 8.11% más en la resistencia a la flexo tracción, comparado con el aumento del 6.31% a los 7 días, con la fibra al 0.5% dispersa sucede lo mismo que antes, la resistencia llego a 35.05 kg/cm^2 que representa el 9.52% de aumento que es menor al 12.42% obtenido a los 7 días, pero si lo comparamos con el longitudinal se obtiene una resistencia de 38.20 kg/cm^2 que representa el 19.26% del aumento del módulo de rotura, superando al porcentaje obtenido a los 7 días, con lo cual podemos establecer que al 0.5% de fibra y al colocarla longitudinalmente en la base se obtiene los mejores resultados de incremento de resistencia en el módulo de rotura.

Figura 61

Resultado del módulo de rotura de vigas a diferentes porcentajes (28 días)



Fuente: (Pilicita & Puluche, 2022)

En la ***Tabla* 93** se muestran los resultados obtenidos del módulo de rotura con la dosificación modificada, con la cual se logró llegar a 45.10 kg/cm^2 a los 28 días, cumpliendo así con la resistencia de diseño, con la colocación de fibra de abacá ubicada longitudinalmente se obtuvo una resistencia de 46.08 kg/cm^2 igual a un incremento del 2.19% reduciéndose bastante en comparación con la dosificación anterior que fue de 19.26% de incremento, esto se debe a que el acelerante provoco un debilitamiento y descomposición en la fibra de abacá. Previo al uso del acelerante se investigó en la ficha técnica que el acelerante sika-3 posee un pH de 3 a 5 que se encuentra por debajo del neutro, por lo que difícilmente incremente el pH del concreto que normalmente es de 12 a 13 (altamente alcalino), y para controlar esto se curó la fibra con parafina en las dos dosificaciones, así que se descarta el debilitamiento de la fibra por la alta alcalinidad de la mezcla, lo más probable es que algún agente químico que presenta el acelerante haya dañado a la fibra, en esta investigación no se determinó por qué el acelerante daña a la fibra, ya que es un tema muy extenso y está más enfocado en el área química y requiere de otro tipo de ensayos.

Tabla 93

Resumen ensayos del módulo de rotura con dosificación modificada.

Descripción	Número de muestra	Tiempo	Módulo de rotura o resistencia a la flexión (kg/cm^2)	Resistencia mayor (kg/cm^2)	Resistencia promedio (kg/cm^2)	Desviación estándar (%)	Coeficiente de Variación (%)	Incremento de resistencia con respecto a la muestra de control
Fibra 0% - Muestra de control	1	7	35.95	35.95	35.56	0.55	1.55	-
	2		35.17					
	3	14	42.99	43.30	43.15	0.22	0.51	
	4		43.30					
	5	28	45.10	45.10	44.82	0.43	0.95	
	6		45.03					
	7		44.33					
Fibra longitudinal 0.50%	1	28	45.88	46.08	45.88	0.21	0.46	2.19
	2		46.08					
	3		45.66					

Fuente: (Pilicita & Puluche, 2022)

Se puede notar en la primera dosificación que la resistencia a los 7 días se encuentra alrededor de un 65% con respecto a la resistencia de una muestra a los 28 días como se muestra en ***Tabla 94***, sabiendo que la norma ecuatoriana vial establece que para que una vía pueda ser habilitada, necesita haber cumplido el 80% de su resistencia de diseño, y dado que la vía diseñada es de gran importancia para el flujo de vehículos de Chimborazo y Tungurahua hacia la región costa, se realizó un reajuste en la dosificación y se logró llegar en 7 días a un 79.72% de la resistencia de diseño con el uso del acelerante Sika 3 como se muestra en **Tabla *95***, por otro lado, con la primera dosificación no se logró llegar a los 45 kg/cm^2 de la resistencia de diseño y con la dosificación modificada se logró alcanzar un módulo de rotura de 45.10 kg/cm^2 .

Tabla 94

Resistencia del módulo de rotura en función del tiempo

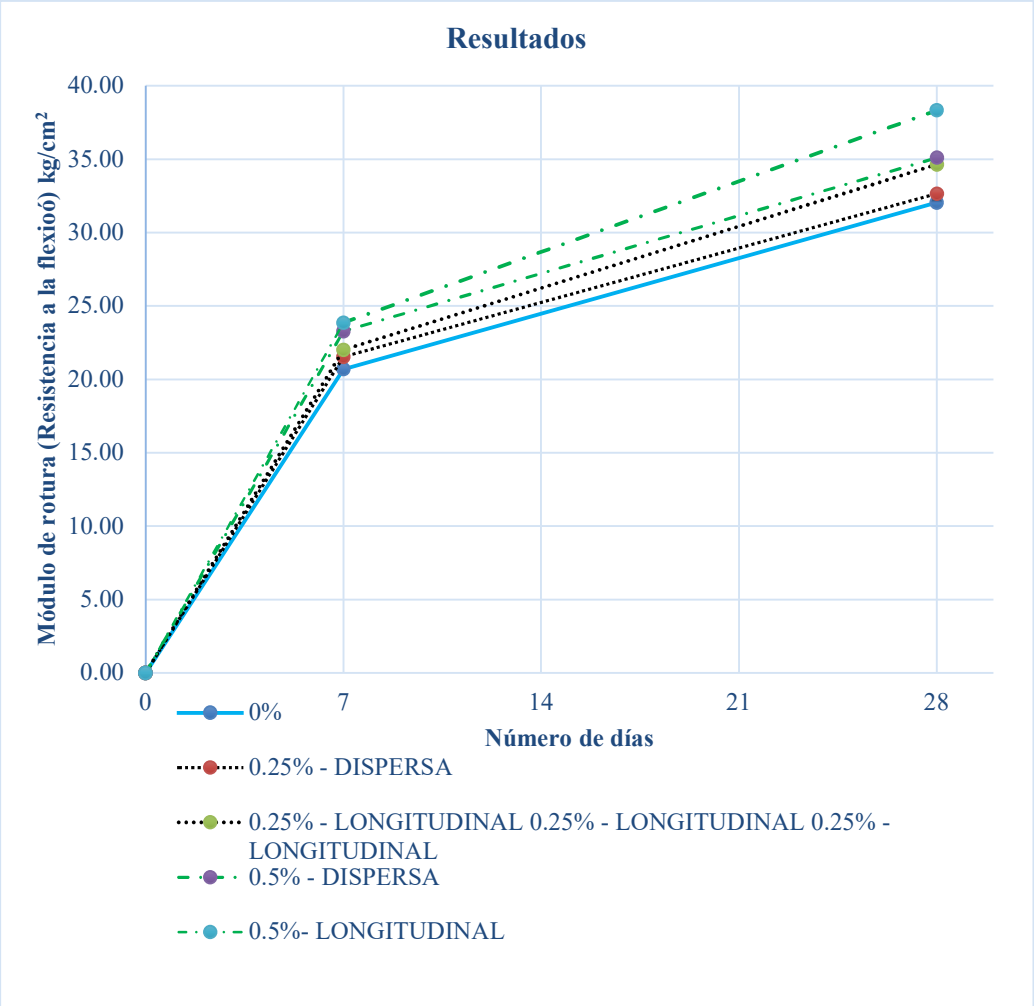
Descripción	(Tiempo) Número de días	(Resistencia) Módulo de rotura (kg/cm^2)	Resistencia vs. Tiempo
0% - Control	7	20.69	64.60%
0% - Control	28	32.03	100%
0.25% - Dispersa	7	21.52	65.93%
0.25% - Dispersa	28	32.64	100%
0.25% - Longitudinal	7	22.00	63.53%
0.25% - Longitudinal	28	34.63	100%
0.5% - Dispersa	7	23.26	66.31%
0.5% - Dispersa	28	35.08	100%
0.5%- Longitudinal	7	23.85	62.24%
0.5%- Longitudinal	28	38.20	100%

Fuente: (Pilicita & Puluche, 2022)

En la ***Figura 62*** se puede observar una gráfica de resistencia a la flexión en función del tiempo para vigas de concreto simple y vigas de concreto simple con adición de fibras de abacá, mismas que tienen la misma tendencia y no sobrepasan el 67% de la resistencia a los 7 días con respecto a la resistencia de los 28 días.

Figura 62

Resultados del módulo de rotura a los 7 y 28 días.



Fuente: (Pilicita & Puluche, 2022)

Tabla 95

Resistencia del módulo de rotura en función del tiempo (Dosificación modificada)

Descripción	(Tiempo) Número de días	(Resistencia) Módulo de rotura (kg/cm^2)	Resistencia vs. Tiempo
0% - Control	7	35.95	79.72
0% - Control	14	43.30	96.02
0% - Control	28	45.10	100.00
0.5% - Longitudinal	28	46.08	100.00

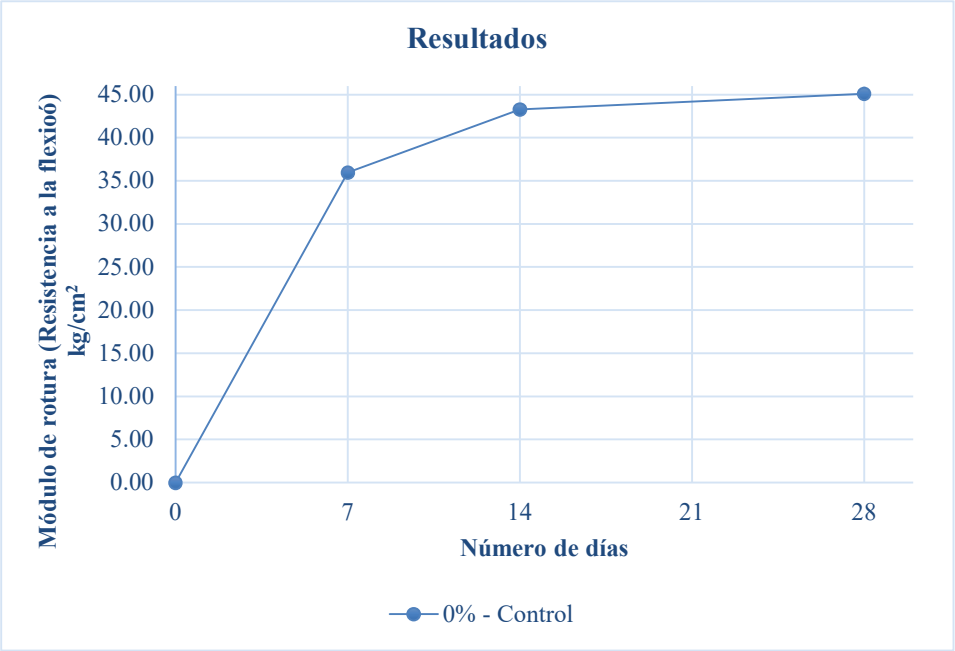
Fuente: (Pilicita & Puluche, 2022)

En la **Figura *63*** se puede observar una gráfica de resistencia a la flexión en función del tiempo para vigas de concreto simple sin adición de fibras de abacá, misma que a los 7 días presenta aproximadamente el 80% con respecto a la resistencia de los 28 días, a los 14

días un 96% y a los 28 días el 100%, esto se debe al uso del acelerante Sika-3 que incrementa la resistencia inicial.

Figura 63

Resultados del módulo de rotura a los 7, 14 y 28 días con acelerante Sika-3

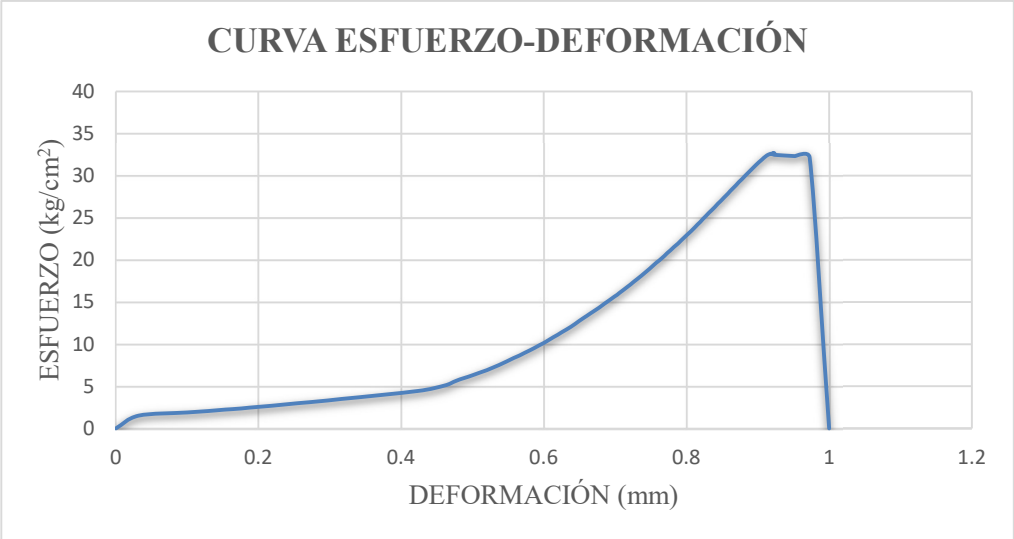


Para tener un mejor entendimiento del comportamiento se analizará las deformaciones que presentaron las vigas ensayadas, las mismas que se presentan a continuación.

En la **Figura *64*** se puede apreciar como la pendiente tiende a ser muy baja debido a que la energía transferida por la carga aplicada solo se distribuye en la mezcla de hormigón y no tiene algún refuerzo que ayude a disipar de mejor manera esta energía y por ello presenta deformaciones mayores, siendo la máxima de 0.9198 mm.

Figura 64

Curva Esfuerzo-Deformación de la viga sin adición de fibra



Fuente: (Pilicita & Puluche, 2022)

Al colocar 0.50% de fibra dispersa en el hormigón se puede notar en la **Figura *65*** como su comportamiento cambia, ya que ahora la energía se disipa de mejor manera y las fibras, debido a su alta resistencia a la tracción, aportan a la mezcla de hormigón dándole una mayor rigidez, lo cual se ve reflejado en una menor deformación, dando como valor máximo 0.85 mm.

Figura 65

Curva Esfuerzo-Deformación de la viga con adición de fibra al 0.50%-Dispersa

Fuente: (Pilicita & Puluche, 2022)

Finalmente al colocar la cantidad de fibra del 0.50%, pero esta vez longitudinalmente en la base, se puede notar que el comportamiento cambia de falla frágil a una falla dúctil, ya que en el caso anterior la fibra era dispersa con tamaños de 3 cm, entonces no era capaz de

soportar una carga muy alta y los hilos se quebraban a un determinado punto elevado de energía, pero ahora al tener la fibra en una longitud mayor que cubre toda la base de la viga, es capaz de contrarrestar el momento que se genera en la parte inferior de la viga y de esta manera disipa de mejor manera la energía generada dentro de la matriz, asimilando el comportamiento de una viga con refuerzo de acero en la parte inferior, en la ***Figura 66*** se puede apreciar como la viga presenta un comportamiento dúctil y una menor deformabilidad que cuando las fibras estaban dispersas, cuando la carga llega al punto máximo de falla la deformación es de 0.7656 mm mucho menor que sin fibra y con fibra dispersa, incluso como podemos apreciar que cuando el hormigón falla completamente la fibra empieza a trabajar y hace que la carga vuelva a subir, ya que empieza a recuperar resistencia y luego de eso empieza nuevamente a descender de manera dúctil, con esto podemos garantizar que no se generen grietas, ya que la rigidez es mayor y soporta mayor carga por la presencia de la fibra

Figura 66

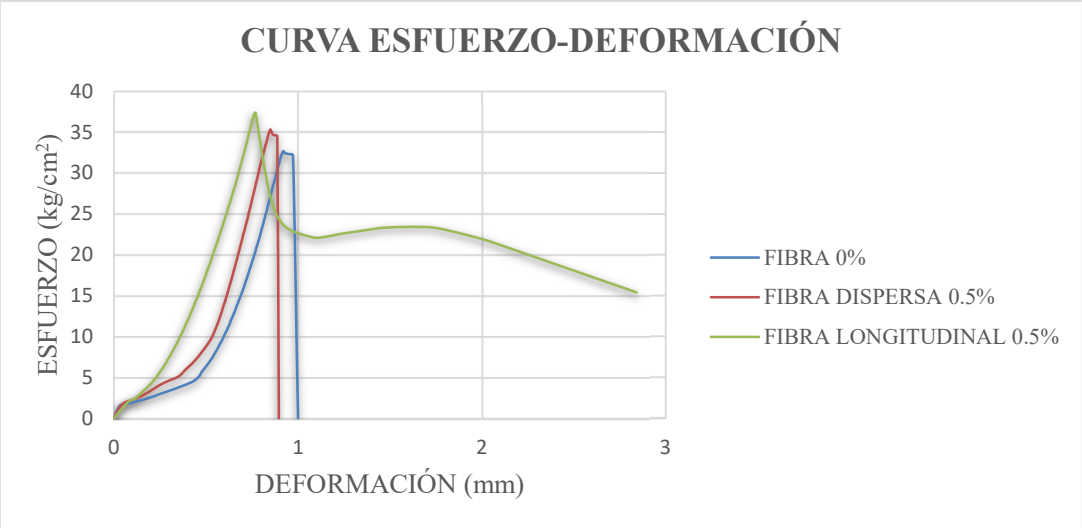
Curva Esfuerzo-Deformación de la viga con adición de fibra al 0.50%-Longitudinal

Fuente: (Pilicita & Puluche, 2022)

En la **Figura *67*** se puede apreciar de mejor manera el comportamiento de las vigas, siendo la de mayor rigidez la que tiene fibra longitudinal, con una falla dúctil y mayor capacidad de soportar carga, con lo cual se concluye que es el porcentaje óptimo de fibra y la colocación de la fibra es mucho más fácil que agregar la fibra dispersa en el hormigón y cortar en trozos de 3 cm.

Figura 67

Comparativa de curvas Esfuerzo-Deformación



Fuente: (Pilicita & Puluche, 2022)

Figura 68

Curva Esfuerzo-Deformación de las vigas con el reajuste de dosificación

Fuente: (Pilicita & Puluche, 2022)

Figura 69

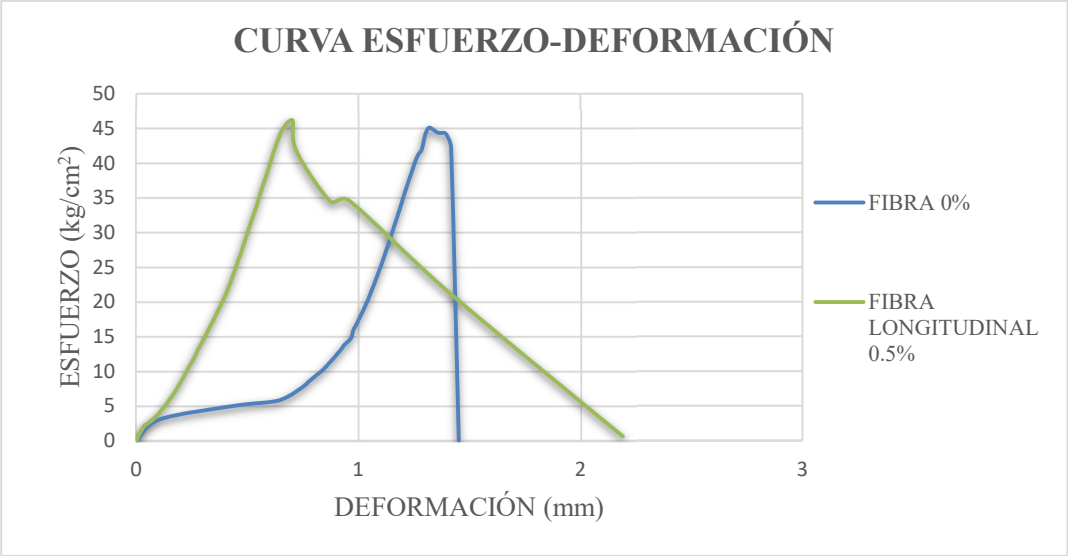
Curva Esfuerzo-Deformación de las vigas con fibra longitudinal al 0.5% en base al reajuste de la dosificación

Fuente: (Pilicita & Puluche, 2022)

En la **Figura *70*** se muestra la comparativa del comportamiento de la viga con adición de fibra longitudinal al 0.5% y vigas sin fibra, si vemos la línea en color azul corresponde al comportamiento que tuvo las vigas sin adición de fibra, se nota como tiene mayor deformación, siendo el máximo en 1.45 mm y si lo comparamos con las vigas con fibra, estas tienen una mayor rigidez, ya que su deformación es menor debido a que la fibra aporta resistencia a la matriz e impide que se deforme rápidamente, también se puede apreciar que se gana un poco de ductilidad debido a la fibra, porque al llegar a su resistencia máxima y fallar el concreto, las fibras empiezan a trabajar e impiden una falla explosiva y en un determinado punto se puede notar como se vuelve a recuperar un poco de resistencia, pero luego vuelve a descender, también se puede observar que las resistencias en los 2 casos son parecidas, algo que no sucedió con la primera dosificación en donde se notaba claramente el aporte de la fibra en la resistencia final del módulo de rotura, siendo del 19% más que las vigas de control y en este caso solo se obtuvo el 2.19% de aumento en la resistencia, debido a que al utilizar acelerante en la matriz, los componentes químicos del acelerante debilitaron a la fibra y estas no pudieron dar un gran aporte en la resistencia final, y eso se evidencia en la gráfica, ya que la resistencia descendió rápidamente y la viga se partió en 2 como se muestra en el **Anexo *2*** mientras que con la primera dosificación que se utilizó sin acelerante las fibras no se llegaron a romper y mantuvo unida a viga como se puede observar en el **Anexo *3***.

Figura 70

Comparativa de curva Esfuerzo-Deformación entre viga con y sin fibra longitudinal

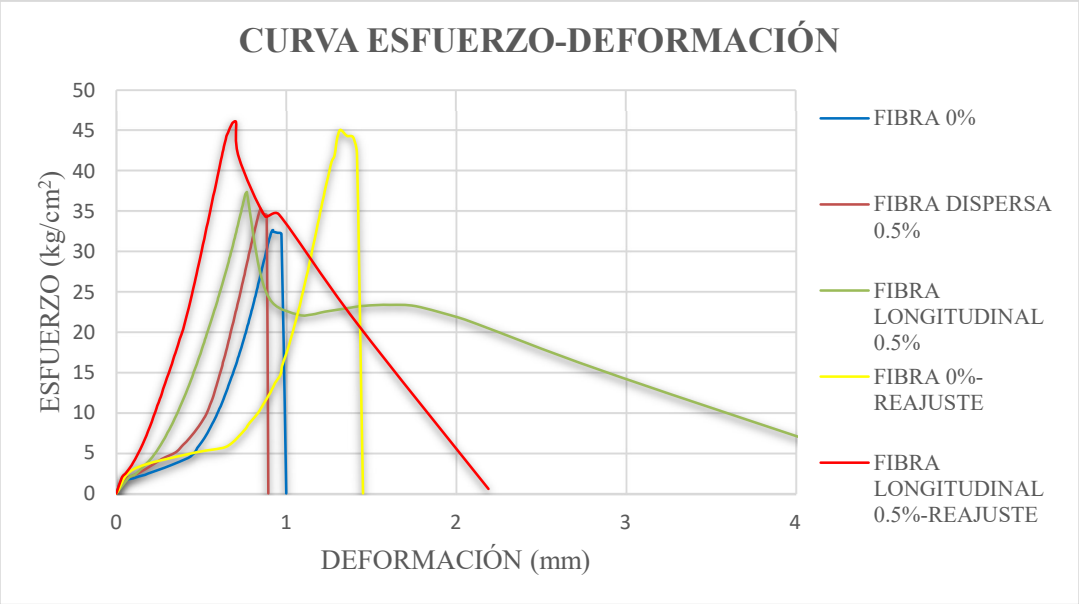


Fuente: (Pilicita & Puluche, 2022)

En la **Figura** ***71*** se muestra una comparativa de todos los resultados de la curva esfuerzo-deformación que se obtuvo de los ensayos con base en la primera dosificación y la que se realizó un reajuste, se puede ver claramente como el comportamiento es similar en todas las curvas, ya que la pendiente es similar, lo único que varía son las deformaciones que tienen entre sí, si vemos la curva de color amarillo corresponde a la dosificación reajustada sin fibra la cual tuvo mayor deformación que la primera dosificación que se utilizó, esto se debe a que la proporción de los agregados en la mezcla con muy bajos con la finalidad de obtener una mayor resistencia y prevalece la cantidad de cemento que se utilizó y según estudios realizados en investigaciones muestran que el comportamiento de la pasta de cemento se deforma más que los agregados y una mezcla de hormigón y en nuestro caso se disminuyó en gran cantidad los agregados y por ende tiende a ser un poco más flexible en comparación con la dosificación anterior que tenía mayor cantidad de agregados en la matriz, pero los comportamientos son similares entre sí, solo que la resistencia de la nueva dosificación es mayor cumpliendo con lo propuesto para el diseño en la presente investigación.

Figura 71

Comparativa de comportamientos Esfuerzo-Deformación entre dosificación antigua vs dosificación reajustada

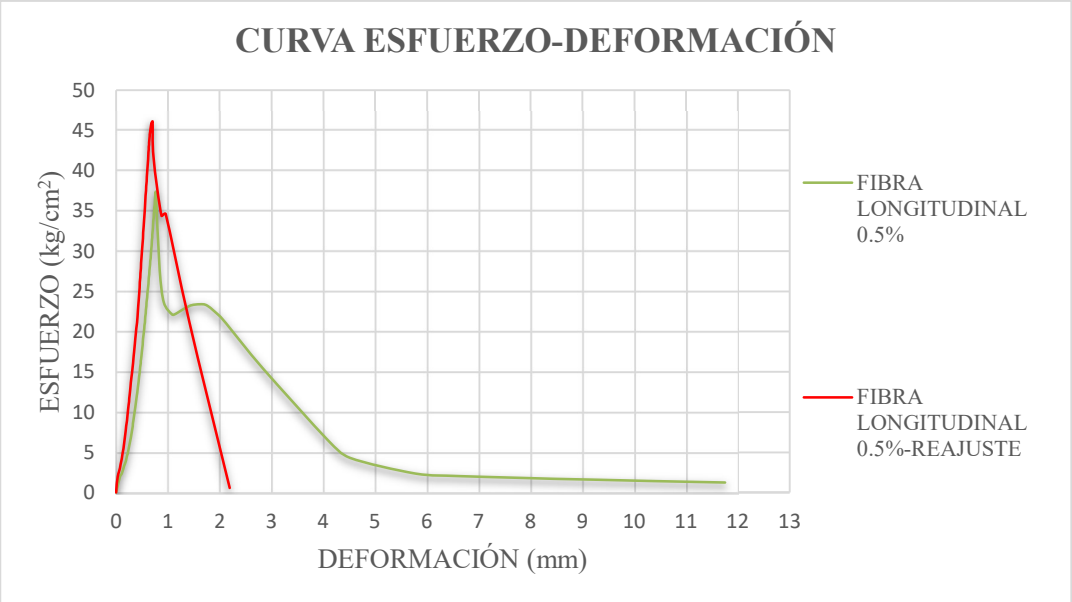


Fuente: (Pilicita & Puluche, 2022)

En la **Figura *72*** se muestra la comparativa del comportamiento de las vigas con fibra longitudinal con la primera dosificación vs. las vigas con fibra longitudinal con la dosificación reajustada con acelerante, si vemos la línea verde corresponde a la primera dosificación donde no se ocupó acelerante y se nota claramente el comportamiento dúctil que presenta la fibra ya que al no ocupar acelerante no se debilitó y pudo resistir mucho mejor las cargas aplicadas y esta nunca llego a cero, ya que la fibra nunca se partió en 2 y mantuvo unida a la viga a pesar de fallar y su deformación seguía aumentado, por otra parte, si analizamos la línea roja vemos que su resistencia es mayo y tiene un poco más de rigidez debido a que la dosificación es más resistente, pero el comportamiento y pendiente es similar, pero la mayor diferencia es en el comportamiento luego de la fractura del hormigón, ya que la fibra al estar en contacto con el acelerante se debilitó y ya no tuvo la capacidad de soportar carga y se rompió rápidamente, y la carga cayó a cero al llegar a una deformación de 2.19 mm, con esto se puede concluir que la adición de acelerantes en la matriz perjudica la durabilidad de la fibra y por ende afecta a su resistencia final y no es recomendable su aplicación en la mezcla con fibras naturales.

Figura 72

Comparativa entre curva Esfuerzo-Deformación de vigas con fibra longitudinal de dosificación antigua vs dosificación reajustada



Fuente: (Pilicita & Puluche, 2022)

4.2.7. Diseño de espesor de pavimento con adición de fibra de abacá.

Con el método AASHTO-93 el espesor de la losa de pavimento es de 32 cm, por otro lado, se ha demostrado que la fibra de abacá incrementa un 19.26% el módulo de rotura del concreto, a su vez al incorporar en el concreto con adición de fibra el acelerante Sika-3 existe un incremento del 2.19%, por lo tanto, recalculando el espesor del pavimiento se obtiene los siguientes valores:

Tabla 96

Espesor de pavimento con adición de fibra de abacá.

	Sin fibra	Con fibra longitudinal 0.50%	Con fibra longitudinal 0.50% y acelerante Sika-3	Unidades
MR	45	53.67	45.99	kg/cm^2
Espesor losa	32	29	31.61	cm

Fuente: (Pilicita & Puluche, 2022)

4.2.8. Análisis económico del hormigón con y sin adición de fibra

Para la comparativa de estos precios se lo realizo para $1m^3$ y basándose en el porcentaje óptimo de fibra que es del 0.50% con respecto al volumen, a continuación, se presenta una tabla de resumen de los resultados obtenido del cálculo de precios con base en los materiales utilizados en la mezcla de hormigón, los mismos que se pueden ver más a detalle en la ***Tabla 82***.

Tabla 97

Resumen de precios de un hormigón simple vs un hormigón fibro-reforzado

	Hormigón simple	Hormigón simple + fibra	Diferencia
f´c=210 kg/cm^2; Precio	$ 65.8100	$ 92.2200	$ 26.41
f´c=320 kg/cm^2; Precio	$ 93.5100	$ 119.9200	$ 26.41

Fuente: (Pilicita & Puluche, 2022)

Analizando la tabla de resumen de costos entre un hormigón con y sin adición de fibras se puede notar que el incremento es de $26.41 por metro cúbico, cabe recalcar que también se analizó la primera dosificación con la cual se llegó a un f'c= 210 kg/cm^2 que equivale a un módulo de rotura de 38 kg/cm^2, pero con la adición de fibras longitudinales al 0.5%, debido a que este valor cumple para una vía con nivel de tráfico 1.

Tabla 98

Resumen de precios de un hormigón simple + acelerante vs un hormigón fibro-reforzado + acelerante

	Hormigón simple + aditivo	Hormigón simple + fibra + aditivo	Diferencia
f´c=320 kg/cm2; Precio	$ 193.6100	$ 220.0200	$ 26.41

Fuente: (Pilicita & Puluche, 2022)

En la **Tabla *98*** se presenta el precio de un hormigón simple con y sin adición de fibras, pero agregando un aditivo acelerante para lograr altas resistencias iniciales, la normativa NEVI-12 menciona que en casos especiales en los que el proyecto demande una pronta habilitación debido a su nivel de importancia y sea autorizado por el encargado del proyecto se puede hacer uso de aditivos acelerante, en nuestra investigación debido a que es una vía con nivel de tránsito tipo 4 y de gran importancia se utilizó el aditivo Sika 3 para poder obtener una resistencia inicial alta, a los 7 días se ensayó 2 vigas con lo cual se obtuvo un módulo de rotura de 35 kg/cm^2 que representa el 78% de la resistencia final y la normativa indica que si se llega a un 80% de la resistencia final esa vía puede ser habilitada, con lo cual podemos decir que el acelerante puede ser ocupado si se requiere una pronta habilitación, pero debemos tener en cuenta que el precio por metro cúbico si consideramos acelerante es de $ 100.10, que en un proyecto de largos tramos de vía, esto va a generar un costo muy elevado del precio final del proyecto, por lo cual no recomendamos el uso de este aditivo a no ser que el proyecto realmente requiera una pronta habilitación, ya que obtendremos la misma resistencia final al cabo de 28 días, cabe mencionar que este tipo de acelerante solo genera esa resistencia alta hasta los 3 días luego de la fundición y luego de eso la resistencia se estabiliza y no presenta cambios de aumento de resistencias finales con el pasar de los días.

CAPÍTULO V.

5. CONCLUSIONES y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

- Los agregados gruesos de la mina Cerro Negro y los agregados finos de la mina de Chambo proporcionada por la empresa hormigones moreno cumple satisfactoriamente con parámetros de diseño de una vía de pavimento rígido tales como, granulometría, porcentaje de abrasión, colorimetría, contendido de terrones de arcilla y partículas deleznables.
- Las propiedades físicas de la fibra de abacá dependerán principalmente del lugar donde se cultive, madurez, método de extracción y la calidad de esta, los ensayos que se realizaron dieron como resultado una densidad de 1.26 g/cm^3, densidad lineal de 57.39 g/km, porcentaje de absorción de 70.37%.
- La cantidad de fibras de abacá se dosificó en función del volumen de los moldes (vigas y cilindros), con la finalidad de tener un mejor control de la cantidad que se va a colocar en las diferentes muestras.
- La Av. Pedro Vicente y Av. Monseñor Leónidas Proaño, en el sector denominado "Media Luna", cuenta con un número de ESAL`s de 97´607 439 para los 20 años del periodo de diseño, a su vez es una vía arterial principal y le corresponde un módulo de rotura igual a 45 kg/cm^2.
- La gráfica de resistencia a la flexión en función del tiempo del concreto presentó la misma tendencia a la gráfica de compresión, ya que a los 7 días se presentó en promedio el 65% de la resistencia que tendrá a los 28 días, por otro lado, cuando se emplea el acelerante Sika 3 la resistencia a los 7 días corresponde al 80% de la resistencia que tendrá a los 28 días.
- En la primera etapa de ensayos las vigas con adición de fibra presentan un incremento en la resistencia a la flexión (MR) en comparación con las vigas de control, para vigas con fibra dispersa al 0.25% se tiene un incremento del 2%, con fibra dispersa al 0.50% se tiene un incremento del 10%, con fibra longitudinal al 0.25% un incremento de 8%, con fibra longitudinal al 0.50% un incremento del 20%, definiendo así como mezcla óptima al concreto simple con adición del 0.50% de fibra por incrementar la resistencia y la ductilidad con respecto a la viga de control y a la viga con fibra dispersa.
- Con la muestra de concreto simple más adición del 0.50% de fibra de abacá ubicada longitudinalmente (primera etapa de ensayos), se obtuvo un incremento del 19.26% con respecto a la muestra de control, en la segunda etapa de ensayo al incorporar acelerante a la muestra se obtuvo un incremento únicamente del 2.19%, esto se debe a que el acelerante provocó un debilitamiento y descomposición en la fibra.
- La resistencia a la compresión con la adición de fibras de abacá en el hormigón disminuye a medida que el porcentaje de fibra aumenta, sin embargo, ayuda a que no se presente una falla explosiva, debido a la adherencia que se genera entre la fibra y

el concreto, provocando que el hormigón tenga mayor ductilidad a pesar de tener menores resistencias.

- Al incorporar fibras de abacá, la resistencia a la tracción en un concreto simple incrementa. Teniendo un incremento del 16.51% cuando se coloca 0.25% de fibra de abacá en función del volumen de la muestra, y un incremento del 22.21 % con 0.50% de fibra. Esto se debe a que las fibras de abacá presentan una elevada resistencia a la tracción y por ende al colocarlo en el concreto como una mezcla monolítica se refleja un incremento.
- En los ensayos realizados en la maquina universal shimadzu, en donde se puede observar una curva de carga vs. deformación, se pudo evidenciar que el concreto simple presenta una falla frágil y al colocar 0.5 de fibra longitudinalmente provoca un cambio en el comportamiento mismo que genera una falla dúctil, por otro lado, la fibra genera una menor deformabilidad cuando la carga llega al punto máximo.
- El costo en materiales para $1m^3$ de hormigón simple con un módulo de rotura de 45 kg/cm^2 es $ 93.51, y para un hormigón simple con fibra de abacá al 0.50% es de $119.92, con una diferencia de $26.41 que corresponde al costo de la adición de la fibra curada con parafina, dicho de otra manera, con un incremento del 28 % del costo normal en materiales se puede beneficiar con un incremento del 19.26% en la resistencia, menos probabilidad de fisuras y un comportamiento dúctil.

5.2. Recomendaciones

- Para obtener valores similares del módulo de rotura de esta investigación, se debe usar los mismos agregados o con propiedades y características similares.
- Se debe tener mucho cuidado con el método de densidad óptima para la dosificación, por lo que si no se tiene experiencia se debe acudir con un asesor.
- El uso del acelerante Sika 3 incrementa demasiado el costo de una mezcla de hormigón simple para pavimento, por lo que solo debe ser utilizado cuando la vía requiera ser habilitada lo antes posible.
- La colocación de la fibra dispersa debe ser de a poco, de tal manera que se mezcle bien con el hormigón simple y quede distribuido de manera correcta, caso contrario se formaran pelotas de fibra que reduzcan su resistencia.
- La fibra longitudinal se recomienda que vaya por debajo del eje neutro donde el esfuerzo de tracción es mayor.
- Dejar la fibra por lo menos 15 minutos dentro de la parafina para que tenga tiempo de absorberla, por otro lado, se debe mantener una temperatura constante de 100º C para evitar que la parafina se solidifique y genere demasiados grumos.
- No utilizar aditivos en la mezcla de hormigón cuando se pretenda reforzar con fibras naturales, ya que los componentes químicos de los aditivos debilitan y descomponen la fibra y pierde sus propiedades físicas y mecánicas.
- Para futuras investigaciones se recomienda probar con porcentajes de fibra de abacá de 0.75% y 1% ubicados longitudinalmente y sin la adición de aditivos, o probar con otro tipo de tratamiento para la fibra, con el fin de conocer si la resistencia se incrementa más o se ve reducida.

6. BIBLIOGRÁFIA

AASHTO. (1993). Design of Pavement Structures. In *Proceedings of the International Conference on Sustainable Waste Management and Recycling: Construction Demolition Waste* (p. 624).

Álvarez, J. (2008). *Manual de diseño de pavimentos de concreto para vías con bajos, medios y altos volúmenes de tránsito*.

Arroyo, N. (2010). *Diseño y conservación de pavimentos rígidos*.

ASTM-C117. (2017). *Materials Finer than 75- µm (No . 200) Sieve in Mineral Aggregates by Washing*. Sociedad Americana para Pruebas y Materiales.

ASTM-C127. (2015). *Método estandar para determinar la densidad, densidad relativa (gravedad especifica) y absorción del agregado grueso*. Sociedad Americana para Pruebas y Materiales.

ASTM-C128. (2001). *Método de Ensayo Estándar para Densidad, Densidad Relativa (Gravedad Especifica), y Absorción del Agregado Fino*. Sociedad Americana para Pruebas y Materiales.

ASTM-C131. (2001). *Método de Ensayo Normalizado para la resistencia a la degradación de los áridos gruesos de tamaño pequeño por el método de abrasión e impacto en la Máquina Los Angeles*. Sociedad Americana para Pruebas y Materiales.

ASTM-C142. (1997). *Terrones de arcilla y partículas friables en agregados*. Sociedad Americana para Pruebas y Materiales.

ASTM-C29. (1997). *Método de Ensayo Normalizado para determinar la densidad aparente ("peso unitario") e Índice de Huecos en los Áridos* [American Society for Testing and Materials]. http://www.c-s-h.ir/wp-content/uploads/2014/12/C-29.pdf

ASTM-C40. (2011). *Método de Prueba Estándar para Impurezas Orgánicas en agregados Finos para Concreto*. Sociedad Americana para Pruebas y Materiales.

ASTM-D792. (2008). *Métodos de prueba estándar para densidad y gravedad específica (densidad relativa) de plásticos por desplazamiento*. American Society for Testing and Materials.

ASTM C 131. (2001). *Método de Ensayo Normalizado para la resistencia a la degradación de los áridos gruesos de tamaño pequeño por el método de abrasión e impacto en la maquina Los Ángeles*. Sociedad Americana para Pruebas y Materiales.

ASTM C78. (2018). *Standard Test Method for Flexural Strength of Concrete (Using Simple Beam with Third-Point Loading)* (Vols. C78-02, Issue C) [Sociedad Americana para Pruebas y Materiales]. https://doi.org/10.1520/C0078

Belito, G., & Paucar, F. (2018). *"Influencia De Agregados De Diferentes Procedencias Y Diseño De Mezcla Sobre La Resistencia Del Concreto"* [Universidad Nacional de Huancavelica]. http://repositorio.unh.edu.pe/handle/UNH/1581

Benavides, G. (2017). *Caracterización De Las Propiedades Mecánicas Del Material Híbrido Utilizando Matriz Epóxica Reforzada*.

Briseño, D. (2016). *Análisis del comportamiento a flexión de vigas reforzadas con fibras de cabuya*. https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/24183/1/Tesis 1062 - Briseño Sánchez Daniela Yajaira.pdf

Calderón, A., & Ortega, M. (2020). *"Análisis De Los Factores Que Intervienen En Las*

Exportaciones Ecuatorianas De La Subpartida 5305.00.11.00 "Fibras De Abacá En Bruto."

Chahua, J., & Huayta, P. (2018). *Fibra sintética estructural para la optimización del diseño de un pavimento rígido en la nueva planta farmagro-Huachipa-Lima*. http://repositorioacademico.usmp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12727/4783/chahua_huayta.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Chang, A., & Montero, G. (2015). *"Análisis Del Comportamiento Del Sector Exportador Del Abacá En El Ecuador, Periodo 2000- 2013."*

Espinoza, M. (2015). *Comportamiento mecánico del concreto reforzado con fibras de bagazo de caña de azúcar*.

Estrella, S. (2016). *"Estudio De Un Material Compuesto A Base De Fibras Naturales De Cabuya Para Mejorar Las Propiedades Mecánicas De Elementos De Concreto Reforzado."* Universidad Nacional de Chimborazo.

García, A. (2017). *Esfuerzos y deformaciones en pavimentos flexibles*. Slideshare. https://es.slideshare.net/MichelRodriguez1/04-161019212456

Garzón, M. (2010). *Investigación sobre el módulo de elasticidad del Hormigón*.

Gómez, W., & Rivero, B. (2019). *"Análisis Comparativo Del Diseño De Pavimento Rígido De Losa Corta Y El Pavimento Rígido Tradicional En La Zona El Trópico, Distrito De Huanchaco, Trujillo- La Libertad."* https://hdl.handle.net/20.500.12759/7095

Herrera, C., & Quispe, R. (2019). *"Análisis del comportamiento del concreto hidráulico reforzado con fibras naturales de agave para el diseño de pavimento rígido con el método mecanístico – empírico en la Av. Universitaria de la provincia de Huancavelica – 2018"* [Universidad Nacional De Huancavelica]. http://repositorio.unh.edu.pe/handle/UNH/3066

Hilados. (2020). *Hilados de Alta Calidad*. https://www.hiladosdealtacalidad.com/propiedades-de-las-fibras

Holcim. (2022). *Concretos y morteros*. Holcim Colombia. https://www.holcim.com.co/productos-y-servicios/concretos-y-morteros

IBCH. (2006). *Diseño de pavimentos (AASHTO-93)*. https://www.academia.edu/34103801/Diseno_de_Pavimento_Metodo_AASHTO_93_Espanol_1_

ISO:1889. (2009). *Determinación de densidad lineal*.

ISO:3344. (1997). *Reinforcement products - Determination of moisture content*. Organización Internacional de Normalización.

Jadán, R. E. (2013). *Composite de matriz de cemento y refuerzo de Abacá*. Universidad Técnica Particular De Loja.

Juárez, C. A. (2002). *Concretos Base Cemento Portland Reforzados Con Fibras Naturales (Agave Lecheguilla), Como Materiales Para Construccion En Mexico Junio, 2 00 2* [Universidad Autonoma De Nuevo León]. http://eprints.uanl.mx/id/eprint/5833

Ministerio de transporte & Instituto nacional de vías. (2008). *Manual de diseño de pavimentos de concreto para vías con bajos, medios y altos volúmenes de tránsito*. https://www.invias.gov.co/index.php/archivo-y-documentos/documentos-tecnicos/3807-manual-de-diseno-de-pavimentos-de-concreto-para-vias-con-bajos-medios-y-altos-volumenes-de-transito/file

Montalvo, M. E. (2015). *“ Pavimentos Rigidos Reforzados Con Fibras De Acero Versus Pavimentos Tradicionales ”* [Pontifica Universidad Católica Del Perú]. http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/20.500.12404/6117

Mora, G. (2017). Análisis Del Crecimiento Urbano No Planificado Y Su Incidencia En Los Problemas De Vialidad Y Tránsito De La Ciudad De Riobamba, Provincia De Chimborazo. *Universidad Nacional de Chimborazo*, 112. http://dspace.unach.edu.ec/bitstream/51000/1381/1/UNACH-EC-AGR-2016-0002.pdf

NEVI. (2013). *Especificaciones generales para la construcción de caminos y puentes (Vol. 3)*.

NTE INEN 156. (2009). *Cemento hidráulico. Determinación de la densidad*. Instituto Ecuatoriano de Normalización.

NTE INEN 1573. (2010). *Hormigón de Cemento Hidráculico. Determinación de la Resistencia a la Compresión de Especímenes Cilíndricos de Hormigón de Cemento Hidráulico.* (Vol. 1, Issue Primera Edición). Instituto Ecuatoriano de Normalización.

NTE INEN 2 527. (2010). *Textiles. Identificación De Fibras. Ensayos Cualitativos*. Instituto Ecuatoriano de Normalización.

NTE INEN 2554. (2011). *Hormigón de cemento hidráulico. Determinación de la resistencia a la flexión del hormigón. (utilizando una viga simple con carga en los tercios)*. Instituto Ecuatoriano de Normalización.

NTE INEN 2648. (2013). *Hormigón De Cemento Hidráulico . Determinación De La Resistencia a La Tracción Por Compresión Diametral De Especímenes Cilíndricos de Hormigón*. Intituto Ecuatoriano de Normalización.

NTE INEN 696. (2011). *Áridos. Análisis granulométrico en los áridos, fino y grueso.* Intituto Ecuatoriano de Normalización.

NTE INEN 697. (2010a). Áridos. Determinación del material más fino que pasa el tamiz con aberturas de 75 µm (no. 200), mediante lavado. In *Norma Técnica Ecuatoriana.*

NTE INEN 697. (2010b). *Áridos. Determinación del material más fino que pasa el tamiz con aberturas de 75 µm (No. 200) mediante lavado*. Instituto Ecuatoriano de Normalización.

NTE INEN 855. (2010). *Áridos. Determinación de las impurezas orgánicas en el árido fino para hormigón. NTE INEN 855* [Intituto Ecuatoriano de Normalización]. http://www.normalizacion.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2014/EXTRACTO_2014/JSI/nte_inen_iso_26000extracto.pdf

NTE INEN 856. (2010). *Áridos, Determinación de la densidad, densidad relativa (Gravedad específica) y absorción del árido fino* [Instituto Ecuatoriano de Normalización]. https://doi.org/10.17226/18725

NTE INEN 857. (2010). Áridos. Determinación de la Densidad Relativa(Gravedad Especifica) y Absorción del Arido Grueso. [Instituto Ecuatoriano de Normalización]. In *Norma Técnica Ecuatoriana* (Issue Primera Edición). http://apps.normalizacion.gob.ec

NTE INEN 858. (2010). *Determinación de la masa unitaria (Peso volumétrico) y el porcentaje de vacíos*. Instituto ecuatoriano de Normalización.

NTE INEN 862. (2011). *Aridos Para Hormigon. Determinacion Del Contenido Total De*

Humedad. Intituto Ecuatoriano de Normalización.

NTE INEN 872. (2011). *Áridos Para Hormigón. Requisitos.* [Intituto Ecuatoriano de Normalización]. https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/872-1.pdf

Orozco, D., & Riera, J. (2022). Universidad Nacional De Chimborazo. In *Alternativas de evaluación del lenguaje en niños pre escolares*.

Pera, J. (2019). *El impacto de la exportación de abacá como producto no tradicional en la economía ecuatoriana, periodo 2014 – 2018*.

Perales, E. (2017). *Pavimentos: ligante asfáltico y mezcla asfáltica*. Esvial. https://es.slideshare.net/EmanuelPerales/pavimentos-ligante-asfltico-y-mezcla-asfltica

Pérez, J. (2015). *Patología de estructuras de hormigón armado*. 35. https://www.udc.es/dep/dtcon/estructuras/ETSAC/Publicaciones/pub-val/Patologia/trasparencias patologia.pdf

Quevedo, D. (2019). *Análisis Del Mercado Internacional De La Fibra De Abacá, Su Oferta Exportable Hacia Reino Unido Y Su Aporte En El Cambio De La Matriz Productiva*.

Rivera, M., & Sosa, J. (2010). *"Mejoramiento en las propiedades físico mecánicas y de durabilidad de un pavimento rígido , con la adición de fibras sintéticas estructurales."* http://repositorio.puce.edu.ec/handle/22000/2660

Rondón, H., & Reyes, F. (2015). *Pavimentos* (Ecoe (ed.); Primera).

Salas, A. (2009). *Obtención de Compuestos de Polietileno Reforzado con Fibras de Abacá Mediante Moldeo por Compresión*. 1–212.

TerranovaPapers. (2022). *TerranovaPapers*. http://terranovapapers.com/es/el-abaca/

Torres, E. (2021). *Producción Y Exportación Del Abacá En El Ecuador*.

Vargas, G., & Yataco, A. (2020). *Efecto De Las Fibras De Acero Y Polipropileno En La Resistencia A La Flexión Del Concreto Para Pavimentos Rígidos efecto De Las Fibras De Acero Y Polipropileno En La Resistencia A La Flexión Del Concreto Para Pavimentos Rígidos* [Universidad Ricardo Palma]. http://repositorio.urp.edu.pe/handle/URP/3678

Vega, L. (2019). Aporte de las fibras Sintéticas y Metálicas en el Módulo de Rotura del Concreto. In *Universidad Militar Nueva Granada*. http://hdl.handle.net/10654/32630

Vidaud, I., Frómeta, Z., & Vidaud, E. (2015). *Una aproximación a los concretos reforzados con fibras (Parte II)*. 10. http://www.imcyc.com/revistacyt/pdf/agosto2015/tecnologia.pdf

7. ANEXOS

Anexo 1

Colocación de fibra longitudinal en la base de la viga

Fuente: (Pilicita & Puluche, 2022)

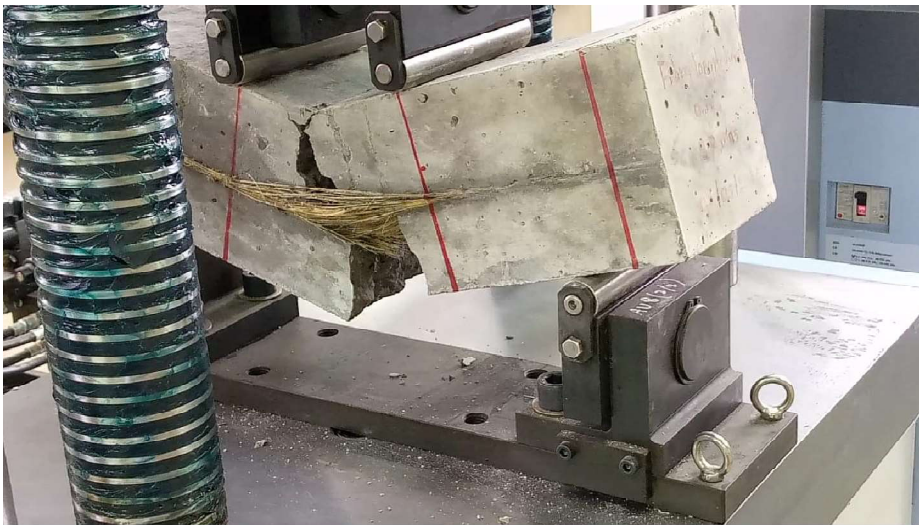
Anexo 2

Ensayo de viga con fibra longitudinal al 0.5% en la maquina universal Shimadzu

Fuente: (Pilicita & Puluche, 2022)

Anexo 3

Ensayo de viga con fibra longitudinal al 0.5% sin acelerante en la matriz en la maquina universal Shimadzu



Fuente: (Pilicita & Puluche, 2022)