



FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

**EVALUACIÓN DEL CONCRETO REFORZADO CON FIBRAS
DE ACERO RECICLADAS PARA MEJORAR LAS
PROPIEDADES DE UN PAVIMENTO RÍGIDO**

PRESENTADA POR

**DEIVID RAUL TORIBIO HUAMANI
JUNIOR ALEXANDER UGAZ ARENAS**

ASESORES

**JUAN MANUEL OBLITAS SANTA MARIA
ERNESTO ANTONIO VILLAR GALLARDO**

TESIS

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL

LIMA – PERÚ

2021



CC BY

Reconocimiento

El autor permite a otros distribuir y transformar (traducir, adaptar o compilar) a partir de esta obra, incluso con fines comerciales, siempre que sea reconocida la autoría de la creación original

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



USMP
UNIVERSIDAD DE
SAN MARTÍN DE PORRES

**FACULTAD DE
INGENIERÍA Y ARQUITECTURA**

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

**EVALUACIÓN DEL CONCRETO REFORZADO CON FIBRAS
DE ACERO RECICLADAS PARA MEJORAR LAS
PROPIEDADES DE UN PAVIMENTO RÍGIDO**

TESIS

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL

PRESENTADO POR

**TORIBIO HUAMANI, DEIVID RAUL
UGAZ ARENAS, JUNIOR ALEXANDER**

LIMA – PERÚ

2021

DEDICATORIA

Al altísimo, por bendecirme para llegar a esta importante etapa profesional. A mis padres, Raúl y Reyna quienes son la razón de mi vida, por siempre confiar en mí y guiarme a cumplir mis metas. A toda mi familia, que me brinda su apoyo en todo momento, que con sus buenos deseos y ayuda mutua logré cumplir una meta más en la vida.

AGRADECIMIENTO

Agradezco profundamente a mi familia, especialmente a quienes me dieron la vida y a mi hermana por su motivación. A mis amigos y familiares por brindarme su ayuda.

Junior Ugaz

ÍNDICE

	Página
RESUMEN	xi
ABSTRACT	xii
INTRODUCCIÓN	xiii
CAPÍTULO I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	
1.1. Situación problemática	15
1.2. Formulación del problema	18
1.2.1. Problema general	18
1.2.2. Problemas específicos	18
1.3. Objetivo de investigación	18
1.3.1. Objetivo general	18
1.3.2. Objetivos específicos	18
1.4. Justificación de la investigación	19
1.5. Limitaciones de la investigación	19
1.6. Viabilidad de la investigación	20
1.7. Impacto potencial	20
1.7.1. Impacto teórico	20
1.7.2. Impacto práctico	21
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO	
2.1. Antecedentes de la investigación	22
2.1.1. Antecedentes nacionales	22
2.1.1. Antecedentes internacionales	24
2.2. Bases teóricas	26
2.2.1. Fibras de acero comerciales	26
2.2.2. Fibras de acero recicladas	28

	Página
2.2.3. Proceso del reciclado de las fibras de acero	29
2.2.4. Concreto	29
2.2.5. Pavimento	41
2.2.6. Estudio del tráfico	44
2.2.7. Metodología de diseño de espesores Aashto 93	45
2.3. Definición de términos básicos	55
2.4. Hipótesis	56
2.4.1. Hipótesis general	56
2.4.2. Hipótesis específicas	56
 CAPÍTULO III. METODOLOGÍA	
3.1. Enfoque de investigación	57
3.2. Tipo de investigación	57
3.3. Nivel de investigación	57
3.4. Diseño de investigación	58
3.5. Variables	58
3.5.1. Variable independiente	58
3.5.2. Variable dependiente	58
3.6. Operacionalización de las variables	59
3.7. Población y muestra	59
3.8. Recolección de datos	60
3.9. Instrumentos de recolección de datos	62
3.10. Técnicas de procesamiento de datos	62
3.11. Instrumentos de procesamiento de datos	62
 CAPÍTULO IV. DESARROLLO	
4.1 Ubicación del proyecto	64
4.2 Dosificación de las fibras de acero recicladas para el ensayo a flexión	64

	Página
4.3 Dosificación de las fibras de acero recicladas para el ensayo a compresión	65
4.4 Recolección de neumáticos en desuso	66
4.5 Extracción de las fibras de acero recicladas	68
4.6 Corte de las fibras de acero recicladas	69
4.7 Peso, diámetro y longitud de la fibra de acero recicladas	70
4.8 Caracterización de materiales para el diseño de mezcla	72
4.9 Diseño de mezcla de concreto	84
4.10 Elaboración del concreto	89
4.11 Espesor de losa de concreto según Método AASHTO 93	95
4.11.1. Espesor de losa sin refuerzo	96
4.11.2. Espesor de losa con 1%, 1.5% y 2% de refuerzo con fibras de acero recicladas	100
CAPITULO V. RESULTADOS	
5.1. Resultados con respecto a la influencia en el módulo de rotura	101
5.2. Resultados con respecto a la influencia en la resistencia a compresión	103
5.3. Resultados con respecto al espesor de losa	104
CAPITULO VI. DISCUSIÓN	
6.1 Contrastación de hipótesis	106
6.2 Contrastación con los resultados de los antecedentes	107
a) Contrastación con el resultado del antecedente nacional	108
b) Contrastación con el resultado del antecedente internacional	109
CONCLUSIONES	110
RECOMENDACIONES	111
FUENTES DE INFORMACIÓN	112

ÍNDICE DE TABLAS

	Página
Tabla 1 Tipos de cemento portland	33
Tabla 2 Tipos de cemento portland adicionados	33
Tabla 3 Categoría de Transito según ejes equivalentes	47
Tabla 4 Serviciabilidad según tráfico y ejes equivalentes	48
Tabla 5 Confiabilidad y desviación estándar normal según tipo de tráfico	50
Tabla 6 CBR mínimos recomendados para la SubBase Granular	52
Tabla 7 Valores recomendados de resistencia del concreto	52
Tabla 8 Condición de drenaje	53
Tabla 9 Coeficiente de drenaje	54
Tabla 10 Valores de coeficiente de transmisión de carga J	55
Tabla 11 Operacionalización de las variables	59
Tabla 12 Muestra de ensayo de resistencia a la flexión	60
Tabla 13 Muestra de ensayo de resistencia a la compresión	60
Tabla 14 Proceso de trabajo	61
Tabla 15 Contenido de humedad de los agregados	74
Tabla 16 Ensayo granulométrico por tamizado para agregado fino – Arena gruesa	75
Tabla 17 Ensayo granulométrico por tamizado para agregado grueso	76
Tabla 18 Resumen de datos de los ensayos característicos para los agregados	84
Tabla 19 Resumen de datos de los ensayos característicos para los agregados	85
Tabla 20 Aire atrapado según TMN del agregado grueso	86
Tabla 21 Volumen unitario de agua según TMN del agregado grueso	86
Tabla 22 Volumen unitario de agua según TMN del agregado grueso	87
Tabla 23 Peso del agregado según módulo de fineza del agregado fino y TMN del agregado	87
Tabla 24 Volumen de los materiales para el concreto	88
Tabla 25 Peso de agregado corregido por humedad y agua efectiva	88

	Página
Tabla 26 Proporcionamiento del diseño	88
Tabla 27 Tanda de prueba mínima	89
Tabla 28 Serviciabilidad	96
Tabla 29 Nivel de confianza y desv. Estándar	97
Tabla 30 Transferencia de cargas	99
Tabla 31 Resultados del módulo de rotura	102
Tabla 32 Resultados de la resistencia a la compresión	103
Tabla 33 Resultados del espesor de la losa	104
Tabla 34 Contrastación con la hipótesis nº1	106
Tabla 35 Contrastación de la hipótesis nº2	106
Tabla 36 Contrastación de la hipótesis nº3	107

ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
Figura 1 Reporte estadístico mensual de producción de cemento en el Perú	15
Figura 2 Impacto teórico	21
Figura 3 Impacto práctico	21
Figura 4 Formas de fibra de acero comercial	27
Figura 5 Concreto reforzado con fibras de acero	27
Figura 6 Estructura de un neumático	28
Figura 7 Fibras de acero extraídas de un neumático	29
Figura 8 Componentes del concreto en porcentajes	30
Figura 9 Agregado fino	31
Figura 10 Agregado grueso	32
Figura 11 Cemento Portland tipo I	34
Figura 12 Agua para la elaboración del concreto	35
Figura 13 Aditivo plastificante Sika	36
Figura 14 Ensayo de consistencia	38
Figura 15 Ensayo de resistencia a la compresión	39
Figura 16 Ensayo indirecto de compresión	40
Figura 17 Ensayo de resistencia a la flexión	41
Figura 18 Perfil de un pavimento flexible	43
Figura 19 Perfil de un pavimento rígido	44
Figura 20 Descripción de los componentes de la ecuación AASHTO	46
Figura 21 Grafica de índice de serviciabilidad de acuerdo con la vida del pavimento	49
Figura 22 Correlación CBR y módulo de reacción	51
Figura 23 Recolección de neumáticos en desuso – Botadero de Cieneguilla	67
Figura 24 Recolección de neumáticos en desuso – Llantería en la Av. Trapiche – Comas	68
Figura 25 Extracción de las fibras de acero recicladas	69

Figura 26 Corte de las fibras de acero recicladas	70
Figura 27 Peso de una fibra de acero reciclada	71
Figura 28 Diámetro de la fibra de acero reciclada	71
Figura 29 Longitud de la fibra de acero reciclada	72
Figura 30 Material llevado al horno a 110°C +/- 5°C	73
Figura 31 Material luego del secado en horno	74
Figura 32 Tamizaje de agregados	75
Figura 33 Curva granulométrica del agregado fino dentro del huso #5	77
Figura 34 Curva granulométrica del agregado grueso dentro del huso #5	77
Figura 35 Tarar la balanza y pesar 1kg	78
Figura 36 Agregado fino superficialmente seco	78
Figura 37 Proceso de condición superficial	79
Figura 38 Forma cónica del molde	80
Figura 39 Picnómetro con el agregado fino	81
Figura 40 Molde de volumen de 0.002809 m ³ para agregado fino	83
Figura 41 Molde de volumen de 0.002809 m ³ con agregado grueso	83
Figura 42 Control de asentamiento de la mezcla según diseño	85
Figura 43 Molde de viga prismática	90
Figura 44 Molde de probeta cilíndrica	90
Figura 45 Agregado fino	91
Figura 46 Agregado grueso	91
Figura 47 Cemento	92
Figura 48 Agua	92
Figura 49 Elaboración del concreto sin refuerzo	93
Figura 50 Elaboración del concreto con refuerzo del 1% de fibras recicladas	93
Figura 51 Elaboración del concreto reforzado con 1.5% de fibras recicladas	94
Figura 52 Elaboración del concreto con 2% de fibras de acero recicladas	95
Figura 53 Resultado del módulo de rotura a los 28 días	102
Figura 54 Resultados de la resistencia a la compresión a los 28 días	104
Figura 55 Resultados del espesor de losa	105
Figura 56 Resultado de antecedente nacional	108
Figura 57 Resultado de antecedente internacional	109

RESUMEN

En la actualidad, el concreto es muy usado para la construcción de estructuras, debido a su propiedad de Resistencia a la Compresión (RC), pero cuando se trata de la elaboración de pavimentos rígidos, la Resistencia a la Tracción (RT) es limitada, esto conlleva a un incremento en el espesor de la losa, con la finalidad de mantener los esfuerzos de tensión por debajo del Módulo de Rotura (MR).

El objetivo de este estudio es evaluar el efecto del uso de concreto reforzado con Fibras de Acero Recicladas (FAR) en las propiedades de un pavimento rígido, teniendo como aporte la utilización de las FAR de llantas en desuso, las fibras obtenidas tuvieron un diámetro de 1mm y se cortaron en longitudes de 50mm, con la finalidad de incluirlas como refuerzo en la elaboración del concreto con dosificaciones del 1%, 1.5% y 2% del peso específico del concreto, para después evaluar los ensayos de Resistencia a la Flexión (RF) y RC.

La metodología empleada en esta investigación presenta un enfoque cuantitativo, tiene un nivel correlacional, es de tipo aplicada y está basada en un diseño experimental.

Los resultados del ensayo de la RF y la RC fueron los concretos reforzados con FAR, estas incrementaron 19.42% y 8.51% respectivamente; en resultado de los espesores hubo una reducción de 2.40cm.

Para calcular el espesor de losa se tuvieron que extraer datos de un expediente técnico de obra de la especialidad de pavimento rígido.

Palabras clave: FAR, MR, RF, espesor del pavimento rígido.

ABSTRACT

Nowadays, concrete is widely used for the construction of structures, due to its property of Compressive Strength (CS), but when it comes to the elaboration of rigid pavements, the Tensile Strength (TS) is limited, this leads to an increase in the thickness of the slab, in order to maintain the tensile stresses below the Modulus of Rupture (MR).

The objective of this study is to evaluate the effect of the use of concrete reinforced with Recycled Steel Fibers (RSF) on the properties of a rigid pavement, having as input the use of RSF from disused tires, the fibers obtained had a diameter of 1mm and were cut in lengths of 50mm, in order to include them as reinforcement in the preparation of concrete with dosages of 1%, 1.5% and 2% of the specific weight of the concrete, and then evaluate the Flexural Strength (FS) and CS tests.

The methodology used in this research presents a quantitative approach, has a correlational level, is applied and is based on an experimental design.

The test results of the FS and CS were RSF reinforced concretes increased 19.42% and 8.51% respectively; as a result of the thicknesses there was a reduction of 2.40cm.

To calculate the slab thickness, data had to be extracted from a technical file of a rigid pavement specialty.

Keywords: RSF, MR, FS, rigid pavement thickness.

INTRODUCCIÓN

El estudio presentado a continuación se ejecutó con el propósito primordial de medir el efecto de la utilización del material alternativo reciclable como es el concreto reforzado en la estructura de un pavimento rígido; de esta manera mejorar sus propiedades de resistencia al sometimiento de compresión en el MR. Al optimizar estas propiedades se podrá diseñar espesores de concreto para el pavimento rígido para que la losa reduzca su espesor.

La importancia al realizar este estudio radica en la mejora de los pavimentos rígidos con material reciclable, esta investigación empleara acero proveniente de las llantas recicladas. Se opto emplear el acero de llantas ya que en el Perú no es muy común reciclar llantas y existe mucha contaminación debido a ella y usarla como alternativa de mejora del concreto que es muy común el empleo en temas construcción es muy factible para la sociedad.

Como se mencionó, este documento académico se enfoca en el análisis de las características presentes en el concreto potenciado con FAR y presenta como objetivos específicos, determinar la influencia de la inclusión de FAR: en el MR, en la RC y en el espesor de un pavimento para mejorar sus propiedades.

En el primer capítulo se detalla la problemática que se analizó previo a buscar una solución, también se exponen los problemas de investigación, objetivos de investigación, justificación, importancia y la viabilidad para el desarrollo de la investigación.

En el segundo apartado se exponen los estudios previos de investigación similares al presente proyecto también se aborda las cuestiones teóricas referentes a la investigación como las FAR, proceso de reciclado, concreto, pavimento, estudio de tráfico, diseño de espesores.

En el tercer capítulo se describe sobre el método utilizado para la investigación además de describir el tamaño de muestra, la población y la técnica de obtención de datos.

En el cuarto capítulo se detalla el desarrollo del proyecto, como se realizó el mezclado de concreto con adición de FAR.

En el quinto capítulo se detallan los hallazgos obtenidos debido a los ensayos realizados y a la elaboración en gabinete.

En el capítulo 6 se contrasta hipótesis de investigación y se observa los gráficos resúmenes del proyecto de investigación.

Por último, se detalla la conclusión, recomendación, fuentes de información.

Como anexos se muestran la matriz de consistencia, certificados de calibración, informe de resultados y panel fotográfico.

CAPÍTULO I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Situación problemática

Actualmente se considera al concreto, entre los materiales empleados con más frecuencia en la construcción a nivel mundial, tanto en edificaciones como en obras civiles en general, esto es sin duda, debido a que presenta abundante tolerancia a compresión. Sin embargo, no está libre de puntos débiles, y definitivamente, el más importante es que es un tangible que posee limitada RT Aiello, Leuzzi, Centonze & Maffezzoli (2009), lo que conlleva a fisurarse o agrietarse en las estructuras de concreto sin reforzar se observa en las losas que se utilizan comúnmente en la elaboración de pavimentos rígidos.

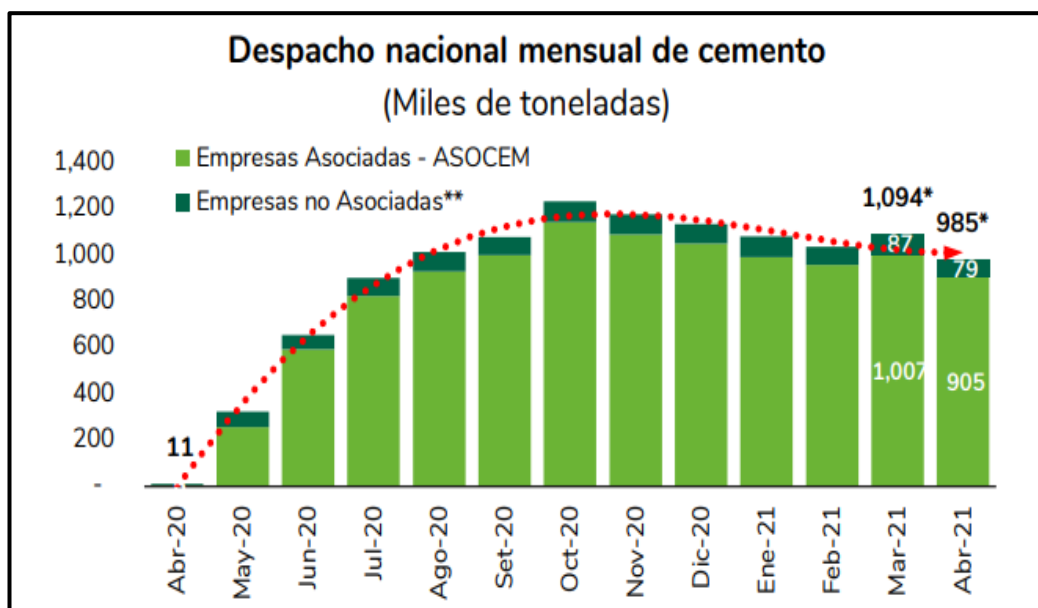


Figura 1 Reporte estadístico mensual de producción de cemento en el Perú

Fuente: Asociación de Productores de Cemento (2021)

Es importante que el lector recuerde que en general un elemento estructural se encuentra sometido a una serie de acciones externas (fuerzas) que terminan provocando dentro del cuerpo de un campo de tensiones como esfuerzos de compresión, esfuerzos de tracción y esfuerzos de corte. Son

especialmente importantes los elementos planos, como los pavimentos rígidos, pues las acciones típicas actuantes sobre estos elementos son las cargas generadas por los vehículos que se transfieren de una forma perpendicular a la base de estos, provocando esfuerzos de tracción importantes en el lugar subyacente del elemento. Tales esfuerzos son a menudo, intensos, ocasionando frecuentemente una compresión excesiva en el MR del material y teniendo como consecuencia el agrietamiento, que a su vez reduce el tiempo de vida útil del mismo.

El hecho de que los elementos planos se vean sometidos a grandes niveles de esfuerzos de tracción en el lugar inferior provoca que los diseñadores tengan que colocar espesores de losas más grandes, con la finalidad de mantener los esfuerzos de tensión por debajo del MR; es así que, a menudo las losas de pavimentos rígidos requieren de grandes espesores lo que conlleva a un requerimiento mayor de concreto. En otros muchos casos, si la demanda de esfuerzos de tracción es muy grande se opta por el uso de acero de refuerzos grado 60 para poder controlar la formación de grietas en el elemento cumpliendo así con los requisitos y diferentes normativas emitidas por el Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC). Esto ocasiona el incremento de los costos para realizar un proyecto de pavimentación esto implica que el proyecto no se realice y finalmente termina afectando a la población.

De lo expuesto, queda claro que, aunque el concreto es un material excelente para resistir esfuerzos de compresión, es un material débil frente a esfuerzos de tracción, lo que limita grandemente su aplicación. En este sentido, con esta investigación se busca la mejora de tal característica, es decir, mejorar la RT del concreto. Pues se hipotetiza que agregando las FAR que provienen de los neumáticos en desuso a este material; se logrará incrementar su eficacia en el incremento del MR.

Tal afirmación la sustentan Aiello et al. (2009), quienes señalan que al utilizar el acero de refuerzo genera un incremento en las propiedades de un pavimento rígido, pero si empleáramos un acero de refuerzo reciclado de los

neumáticos en desuso generaríamos además una reducción al impacto ambiental.

De acuerdo con Vignart (2010), la elaboración incesante de llantas y el inconveniente para eliminarlos después de haberlos empleados, convirtiéndose así en el problema de medio ambiente más preocupante a nivel mundial, en los últimos años. Desechar los neumáticos es muy complicado. Una manera para deshacerse totalmente de los neumáticos es quemándolo directamente, el cual genera la emisión de gases afectando a la atmosfera, en el mundo año tras año miles de neumáticos terminan tirados en lugares públicos.

Para Andrietta (2002) citado por García y Reyes (2016, p.7) uno de los productos que generan residuos peligrosos son los neumáticos, los cuales están compuestos químicamente en promedio de 70% de Carbono y que provocan grandes problemas medioambientales cuando no son tratados de manera correcta.

National Geographic (2019) en su informe citó lo expuesto por IUCN (Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza, 2017) quien manifestaba que el 28% del total de micro plástico en los mares del mundo, eran neumáticos.

Los neumáticos en desuso se consideran residuos masivos. Al dejarlos abandonados en espacios públicos genera un aumento en el impacto ambiental. Una vez que el neumático cumpla su vida útil este se puede aprovechar para reciclaje; en efecto, los gránulos de caucho, fibras textiles y de acero, al ser procesados por una maquina trituradora pueden ser reutilizados en diversas aplicaciones.

Por tal motivo, la investigación propone la utilización de un producto alternativo como es el concreto reforzado con fibras de acero recicladas, que reducirá notablemente las grietas que se generan en la superficie, resaltando además que el reciclaje de los neumáticos en desuso reducirá el impacto ambiental. En artículos científicos de otros países tales como Italia, Polonia e Irán se evidencian grandes mejoras en las RF y RC.

1.2. Formulación del problema

Para determinar el tema que contiene el presente trabajo de investigación, se buscaron antecedentes internacionales en temas de innovación del concreto reforzado y opiniones de expertos que estén especializados y tengan varios años de experiencia en pavimentos. Estas opiniones fueron actualizadas y procesadas generando una mejor representación para la formulación del problema.

1.2.1. Problema general

¿Qué influencia tiene el concreto reforzado con fibras de acero recicladas en las propiedades de un pavimento rígido?

1.2.2. Problemas específicos

- ¿Cuál es la influencia del módulo de rotura en el concreto reforzado con fibras de acero recicladas en las propiedades de un pavimento rígido?
- ¿Cuál es la influencia de la resistencia a la compresión en el concreto reforzado con fibras de acero recicladas en las propiedades de un pavimento rígido?
- ¿Cuál es la influencia del espesor del pavimento rígido en el concreto reforzado con fibras de acero recicladas en las propiedades?

1.3. Objetivo de investigación

1.3.1. Objetivo general

Evaluar la influencia del uso de concreto reforzado con fibras de acero recicladas en las propiedades de un pavimento rígido.

1.3.2. Objetivos específicos

- Determinar la influencia del módulo de rotura en el concreto reforzado con fibras de acero recicladas en las propiedades de un pavimento rígido.

- Determinar la influencia de la resistencia a la compresión en el concreto reforzado con fibras de acero recicladas en las propiedades de un pavimento rígido.
- Determinar la influencia del espesor del pavimento rígido en el concreto reforzado con fibras de acero recicladas en las propiedades.

1.4. Justificación de la investigación

La justificación del estudio radica en que este permitirá tener pavimentos rígidos con mejor desempeño estructural que los obtenidos de manera tradicional. Otra de sus posibles implicaciones es que permitirán diseños más eficientes, ya que al tener concretos con un mayor MR que los convencionales, los espesores podrían llegar a ser significativamente menores que los tradicionales.

Además, la inclusión de las FAR de las llantas en desuso ayuda a reducir el impacto ambiental, ahorrando materia prima en la fabricación de estas como las fibras de acero comerciales.

1.5. Limitaciones de la investigación

Limitaciones económicas: Entre las limitaciones económicas se tienen el número de probetas ensayadas, pues el costo promedio del ensayo de flexión de una viga es de S/ 130.00 y el costo promedio del ensayo de RC de una probeta cilíndrica es de S/ 25.00.

Limitaciones técnicas: El laboratorio para el ensayo de concreto de la universidad San Martín de Porres de la facultad de ingeniería y arquitectura no se encuentra disponible debido a la pandemia covid-19.

El factor tiempo es una limitación, pues el ensayo requiere la curación del concreto a los 28 días después de su elaboración.

1.6. Viabilidad de la investigación

En el aspecto técnico, el estudio es posible, pues el agregado de FAR en el concreto se puede realizar como si este fuera un aditivo más del concreto.

En la parte económica es posible, puesto que los costos unitarios asociados para la ejecución de las pruebas o ensayos del concreto de la RC y RF es de S/ 155.00 y considerando que se planean ensayar 12 especímenes para cada ensayo, con diferentes contenidos de FAR, los costos asociados están en el orden de los S/ 1,860.00 un costo, que está dentro de las posibilidades de los autores de este trabajo.

1.7. Impacto potencial

La investigación expondrá el impacto potencia en dos aspectos fundamentales como son el impacto teórico y el impacto practico.

1.7.1. Impacto teórico

El impacto teórico responde las siguientes preguntas acerca de la investigación tratada, ¿Qué nuevo concepto aportará? ¿los datos evidencian resultados positivos respecto al tema? ¿los enfoques o teorías adaptadas son adecuadas a la realidad nacional? Al respecto es preciso observar la figura 2.

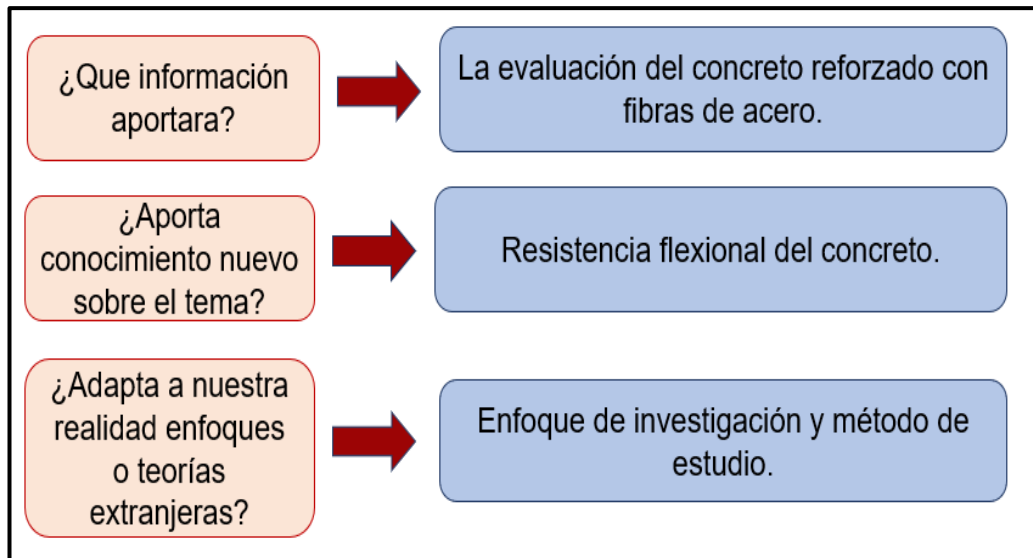


Figura 2 Impacto teórico

Fuente: Elaboración propia

1.7.2. Impacto práctico

El impacto teórico responde las siguientes preguntas acerca de la investigación tratada, ¿Quiénes serán los beneficiados? ¿Para quienes servirá? ¿Qué provecho tendrá? ¿Qué problemática se resolvería? Como se puede apreciar en la figura 3.

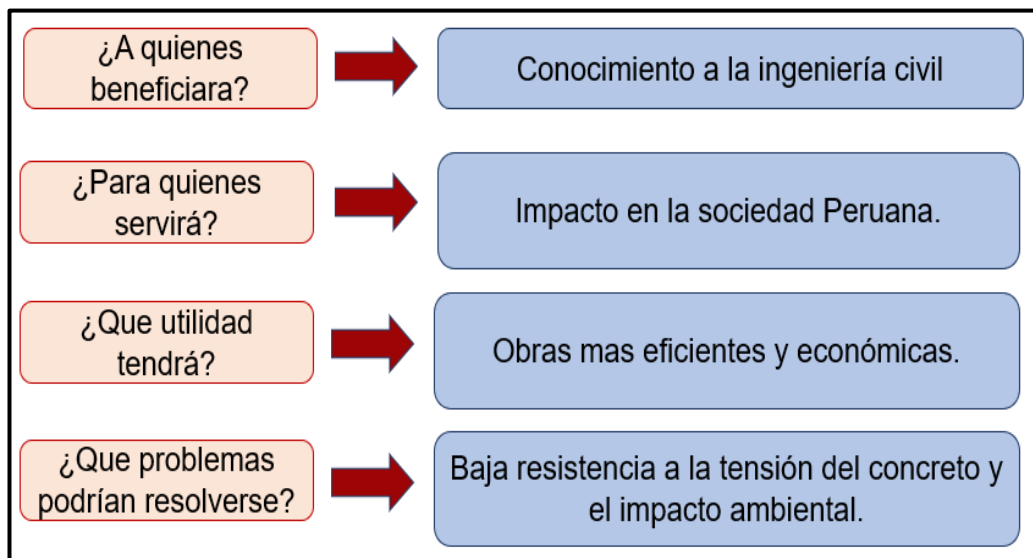


Figura 3 Impacto práctico

Fuente: Elaboración propia

CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de la investigación

2.1.1. Antecedentes nacionales

En la pesquisa realizada por Condori y Palomares (2018), tienen como principal objetivo determinar la incidencia de la inclusión de las virutas de acero recicladas al concreto en su comportamiento mecánico para los pavimentos rígidos. La metodología empleada por estos autores fue la preparación de una serie de muestras donde variaban el contenido de las virutas de acero respecto a las dosis de 3 y 5% del volumen del concreto y el tamaño de las virutas que emplearon fue de 1/2" y 1". Posteriormente estas muestras se curaban bajo condiciones controladas y finalmente una vez alcanzada la madurez apropiada, se ensayaban en el laboratorio. Los resultados encontrados muestran que el concreto con virutas de acero presenta mayores RC, el concreto patrón llega a una RC de 236.5 kg/cm², mientras que el concreto reforzado con virutas de acero de 1/2" alcanza una RC de 323 kg/cm².

Montalvo (2015), presentó su estudio de tesis, con el principal objetivo de realizar un análisis comparativo entre los concretos: simples y reforzados con fibras de acero de marca Wirand FF1 en lo que respecta a las propiedades mecánicas; el cual esta fibra presenta un diámetro de 1 milímetro y una longitud de 50 milímetros, cuya dosificación es de 25 kilogramos por m³ de concreto; desarrollándose mediante la metodología empleada para la validación del estudio consistió en una serie de ensayos experimentales donde se midieron las variables: RC, RT, niveles de agrietamiento por flujo plástico, entre otros. También se realizó la comparación de costos en la ejecución de un proyecto. Los resultados expuestos en este trabajo muestran al concreto reforzado como una ventaja que aporta al pavimento rígido ante una mayor RF; como resultado en el tema de costos sale más económico el pavimento reforzado con la inclusión de estas fibras ya que se podrá ahorrar 11cm de espesor de losa, lo que equivale al 13% de su costo de un pavimento tradicional.

Sotil y Zegarra en el año (2015), presentaron su trabajo de grado que analizó como es que se estructura y efectos de los componentes del concreto reforzado y sin reforzar, las fibras analizadas presentaron un diámetro de 0.75mm y una longitud de 50 y 60mm; los autores incluyen las fibras metálicas comerciales al concreto en una dosificación del 20% y 25% para evaluar sus características tanto mecánicas como físicas; realizaron 27 probetas cilíndricas y 6 vigas y se ensayaron a los 7, 14 y 28 días. Los ensayos que realizaron fueron de agregados, ensayos de RC y RF. Dando como resultado que el concreto con refuerzo de fibras de acero presenta una optimización en las propiedades mecánicas que el concreto sin refuerzo. La variación porcentual del ensayo de RC a los 28 días entre el concreto con fibras Wirand FF3 y el concreto con refuerzo Wirand FF4 es de 9%, el MR del concreto sin refuerzo presenta 3.65 Mpa, el concreto con fibra Wirand FF3 presenta 4.67 Mpa y el concreto con fibra Wirand FF4 presenta 5.57 Mpa.

Díaz (2018), en sus tesis, analiza y diseña un concreto patron el cual incluye compuestos agregados propios de la Naranjillo (cantera) del río Yuracyacu, y además de fibras de acero comerciales de marca sika fiber xorex, de diámetro de 1 milímetro y una longitud de 38 milímetros con una dosificación del 1.20, 3.20 y 5.20% del peso del cemento, además plantea el diseño para varios tipos de concreto con resistencias diferentes $f'c$ de 140, 175 y 210kg/cm². Como resultado el autor obtuvo una mejora del comportamiento en la tracción y flexión del concreto con fibras comerciales, pues este concreto resulto ser más resistente y compacto. El MR del concreto reforzado con fibras y con agregado de la cantera Naranjillo tuvo un incremento en relación con el concreto sin refuerzo en 1.31, 3.37 y 6.06% respectivamente.

Polo y Risco (2018), en su trabajo de investigación realizado con el objetivo determinar la influencia de las fibras del concreto; presentando tres tipos de diseño de mezcla, se adiciona el 1.5 y el 3% de fibras de acero de una marca SIKAFIBER al diseño de mezcla patrón, estas fibras presentan una longitud de 35 milímetros y un diámetro de 0.54 milímetros. Como resultado se obtiene que el concreto sin fibras tiene mayor trabajabilidad en el estado fresco en comparación con el concreto reforzado, pero no ocurre lo mismo en

la RC ni en la RF. El concreto reforzado con 1.54% de fibra en RC a los 28 días fue de 484kg/cm² mientras que el concreto sin refuerzo presenta 416kg/cm². El resultado a la RF del concreto sin refuerzo es de 124kg/cm², el del concreto con refuerzo de 1.5% de fibras es de 153kg/cm² y con refuerzo de 3% de fibras es de 201kg/cm².

2.1.1. Antecedentes internacionales

Domski, Katzer, Zakrzewski & Ponikiewski (2017). Presentaron su artículo científico, y los autores estudiaron y realizaron los ensayos de RT y la ductilidad de las fibras de acero de los neumáticos inservibles y de las fibras de acero comerciales de ingeniería; realizan la comparación de 9 tipos de fibras las cuales 7 son fibras comerciales y dos son recicladas, las FAR presentan: longitud de 10 a 70mm y un diámetro de 0.24 a 0.35mm. Como resultado obtuvieron que las FAR tienen mayor RT en comparación con las fibras comerciales, las fibras comerciales alcanzaron una resistencia máxima hasta los 1200Mpa aproximadamente y en cambio las FAR alcanzaron hasta los 2500Mpa aproximadamente.

Ahmadi, Farzin, Hassani & Motamedi (2017), en el artículo científico, los autores utilizan el concreto reciclado y el mortero de albañilería como los materiales de agregados, los autores emplean las referencias de la inclusión de estos materiales que reducen la resistencia del concreto, es por eso que añaden filamentos de acero recicladas de neumáticos inservibles como refuerzo de esta y por último incluyen un aditivo superplastificante para que el concreto tenga una mejor trabajabilidad, estas fibras empleadas tuvieron un diámetro de 1 milímetro y una longitud aproximadamente entre 30 a 70 milímetros. Realizan 9 tipos de concreto con diferentes dosificaciones en los agregados y FAR. Como resultado en la RC obtuvieron que el tipo de concreto con agregado de concreto reciclado y mortero de albañilería en igual proporción, FAR en 0.5% del volumen y el aditivo superplastificante en comparación de los diferentes tipos de concreto presenta la máxima RC llegando a alcanzar 38.5Mpa. El tipo de concreto de mayor resultado en el MR

alcanza 5.5Mpa el cual contiene los materiales de agregado al concreto reciclado, FAR en 1% del volumen y el aditivo superplastificante.

Mastali & Dalvand (2017), presentaron una investigación y realizan el estudio de varias pruebas experimentales sobre los Estados fresco y endurecido del concreto con fibras de polipropileno hibrido y añadiendo FAR. Las FAR que estos autores emplean tienen una longitud media de 50mm y diámetros de 0.15 y 0.5mm. Los porcentajes que utilizan de las FAR fueron de 0.35, 0.7 y 1.05% del peso específico del concreto. Como resultado final mostraron que la adición de acero reciclado mejoró la RC del concreto en comparación con la fibra de polipropileno. La inclusión de fibras de polipropileno en comparación de la fibra reciclada presenta una mayor mejora en la RF del concreto.

Flores Medina N, Flores Medina D, Hernández & Navacerrada (2017), presentaron un artículo de investigación y los autores analizaron las propiedades mecánicas y térmicas de un hormigón sostenible que incorpora caucho y FAR parcialmente recubiertas de caucho, estas fibras presentaron una longitud entre 5 – 45 milímetros y un diámetro que varía entre 0.024 - 1 milímetros. El caucho se utiliza normalmente como agregado en el hormigón, las fibras son parcialmente recubiertas con caucho recuperado en el proceso de reciclaje de neumáticos, durante la granulación y antes de la separación total del caucho. Las propiedades mecánicas del hormigón con caucho se han obtenido mediante ensayos de compresión, flexión, impacto y resistencia al desgaste. También se ha estudiado la tenacidad, el índice de tenacidad y la absorción de energía de impacto. Como resultados obtuvieron que el concreto con refuerzo de una dosificación del 5.04% del volumen, posee una RC de 18.9Mpa y el concreto de referencia sin refuerzo obtuvo una RC de 12.6 Mpa.

Baricevic, Bjegovic & Skazlic (2017), realizaron un estudio de ingeniería que lleva como título: “*Hybrid fiber-reinforced concrete with unsorted recycled-tire steel fibers*” tiene como objetivo cuantificar la contribución de los filamentos de acero comerciales y los filamentos de acero recicladas para su uso en la industria del concreto. Los autores tuvieron como resultado que el concreto fresco tiene una reducción en la trabajabilidad

medida por un ensayo de asentamiento, se obtuvo solo en el caso de que la cantidad de fibra de acero reciclada añadida era igual o superior al 1 y 2% del volumen total del concreto. Las FAR que emplearon tuvieron una medida de longitud de 15mm y de diámetro 0.18mm.

2.2. Bases teóricas

2.2.1. Fibras de acero comerciales

De acuerdo con Cárdenas (2014), estas son filamentos de metal que provienen de alambres estirados en frío, son producidos con espesores entre 0.6 y 1 milímetro de diámetro, pueden ser rectas u onduladas lo que genera mayores propiedades de adherencia. En la elaboración del concreto se añaden estas fibras generan mejores propiedades mecánicas como flexo tracción, compresión, ductilidad y disminución de fisuras.

Estos filamentos de acero son de diferentes grados, secciones transversales y formas usadas con distintos fines en la industria de la construcción. Algunas de las características más llamativas son sus formas longitudinales, donde se encuentra una gran variedad. Existen fibras con secciones transversales diversas, como las de secciones transversales circunferenciales, secciones transversales cuadradas, secciones transversales irregulares entre otras. Además de las secciones transversales, existen fibras con formas longitudinales diversas, tales como rectas, rectas con ganchos en los extremos, rizadas, entre otras que pueden ser apreciadas en la figura 4.

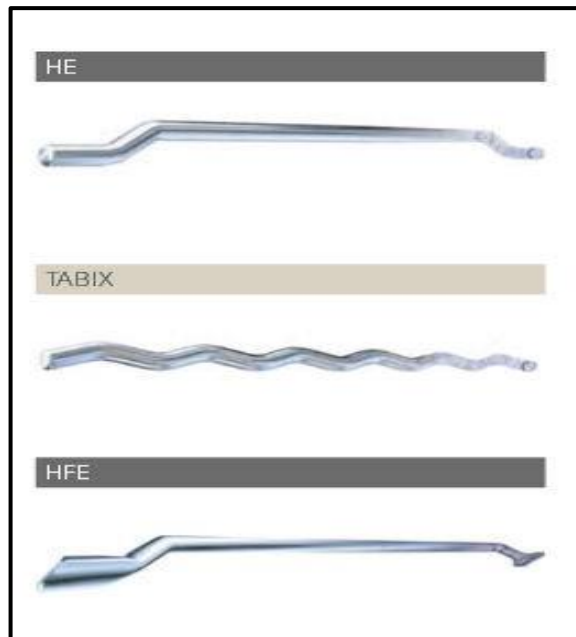


Figura 4 Formas de fibra de acero comercial

Fuente: Arcelor Mittal (2015)

El aporte que el agregado de acero al concreto permite la reducción de la expansión de las grietas, como se observa en la figura 5, lo que conlleva al concreto tener una fractura frágil Cárdenas (2014).

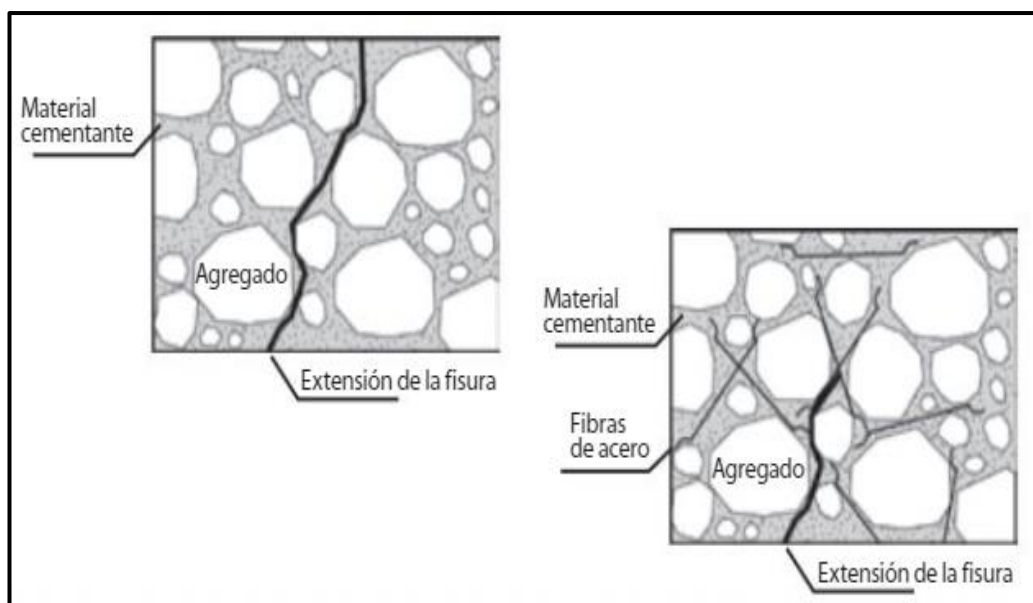


Figura 5 Concreto reforzado con fibras de acero

Fuente: Cárdenas (2014)

2.2.2. Fibras de acero recicladas

De acuerdo con Meza (2018), en el mundo se generan alrededor de 1000 millones de ruedas de goma en un año y hay una cantidad de 4000 millones de vertederos; resultando estos productos una fuente de contaminación difícil de controlar y sin señales de desaparición por sí mismos, por lo que el hecho de darle un segundo uso o de aprovechar algunos de sus componentes resultaría en una gran opción de cuidado medioambiental.

Las fibras de acero pueden tener un origen diverso, las más comunes son las fibras de acero comerciales y con las formas mencionadas anteriormente; sin embargo, también existe la posibilidad de obtener las fibras de acero como producto del reciclaje de algún otro producto manufacturado, como los neumáticos en desuso o desechados Onuaguluchi, Borges, Bhutta & Banthia (2017).

Para esto conviene realizar un análisis de los componentes que tiene un neumático típico. De acuerdo con Onuaguluchi et al. (2017) los neumáticos están compuesto de goma (caucho) y fibras de acero longitudinal, de hecho, de acuerdo con el mismo autor existen neumáticos que alcanzan un peso en fibras de hasta el 15%. Como podemos apreciar en la figura 6 la estructura de un neumático.

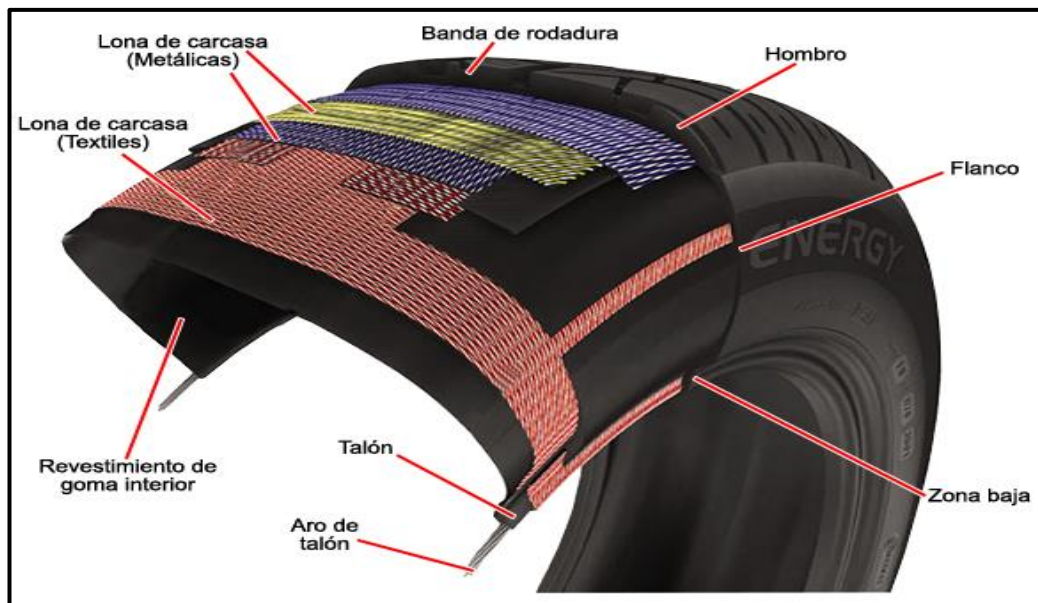


Figura 6 Estructura de un neumático

Fuente: Martos (2017)

De acuerdo con Domski et al. (2017), Existen neumáticos con contenidos de fibras de acero de hasta el 25%. Esto representa contenidos de fibras de acero considerables y una buena fuente de estas.

2.2.3. Proceso del reciclado de las fibras de acero

Según las indagaciones de los antecedentes de esta investigación, las fibras de acero se ubican en la circunferencia interior de los neumáticos y el reciclaje da inicio con la extracción de este anillo. Este proceso se puede realizar en una planta recicladora de neumáticos o se puede realizar manualmente con un cuchillo filudo. Una vez obtenido este anillo concéntrico se procede a obtener las fibras longitudinales, el cual presenta un diámetro de aproximadamente 1mm, esto se aprecia en la figura 7.



Figura 7 Fibras de acero extraídas de un neumático

Fuente: Elaboración propia (2021)

2.2.4. Concreto

De acuerdo con Abanto (2017), el concreto es un material muy moldeable cuando recién se ha elaborado y aún no haya iniciado su proceso de endurecimiento, lo que permite adoptar distintas formas. El concreto con forme va endureciendo este incrementa su RC y por ende mejora las propiedades de adherencia con otros componentes como las fibras de acero. Por estas propiedades el concreto tiene muchas aplicaciones en la construcción de estructuras como: edificios, puentes, pavimentos, ductos, reservorios y muchas más. La composición del concreto es por agregados, cemento portland, agua y aire; en diferentes proporciones y en algunos casos se adicionan aditivos. Podemos apreciar en la figura 8 los componentes del concreto en porcentajes.

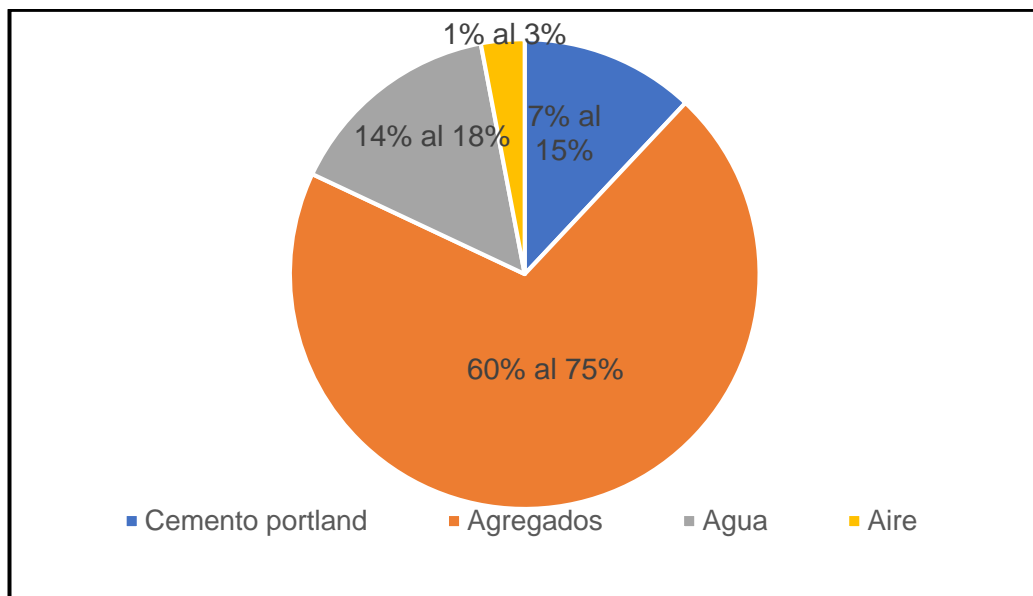


Figura 8 Componentes del concreto en porcentajes

Fuente: Elaboración propia basado en Abanto (2017)

2.2.4.1. Componentes del concreto

2.2.4.1.1. Agregados

Al respecto, Abanto (2017), señala que el segundo componente del concreto es el agregado conocido como árido, que son compuestos inertes, y este al combinarse con el cemento y el agua se prepara

así la mezcla del concreto; el 75 por ciento del volumen del concreto lo conforman los agregados, estos deben de estar libres de impurezas, ya que en la elaboración del concreto no tendrá una buena combinación con la pasta de cemento. Estos se clasifican en: agregados finos y gruesos, siendo los finos la arena fina y arena gruesa; y los gruesos son la grava y la piedra chancada.

Con el mismo autor se define al agregado fino a la piedra sometida a molienda, de dimensiones muy pequeñas que pasan el tamiz 3/8". Respecto a mallas normalizadas, se utilizan aquellas con las medidas de N° 4, 8, 16, 30, 50 Y 100, para la aplicación del agregado fino Abanto (2017). Se puede apreciar en la figura 9 al agregado fino.



Figura 9 Agregado fino

Fuente: Elaboración propia (2021)

Respecto a los agregados gruesos, son los que provienen de la desintegración natural o mecánica de las rocas denominada piedra chancada, este agregado es retenido en el tamiz N° 4. Las mallas normalizadas que se utilizan para el agregado grueso son las de: 4", 3 1/2", 3", 2 1/2", 2", 1 1/2", 1", 3/4", 1/2", 3/8" y N°4. Abanto (2017). Se puede apreciar en la figura 10 al agregado grueso.



Figura 10 Agregado grueso

Fuente: Elaboración propia (2021)

2.2.4.1.2. Cemento

De acuerdo con Abanto (2017), el componente principal del concreto es el cemento que conforma el 7 al 15 por ciento del volumen de la preparación. Este es un producto que se obtiene de la mezcla de minerales molidos formados por arcilla y piedra caliza, estos minerales son llevados a altas temperaturas en hornos de las plantas cementeras, el material que se somete a este proceso se le conoce como clinker que son diminutas partículas grisáceas; el clinker enfriado y molido conforma el cemento portland. Existen diferentes tipos: el cemento portland y cemento portland adicionados. Para más detalle podemos apreciar la tabla 1 y 2.

Tabla 1 Tipos de cemento portland

TIPOS	APLICACIONES
Tipo I	De uso general. Obras que no requieren propiedades especiales.
Tipo II	De uso general, específicamente cuando se desea moderada resistencia a los sulfatos o moderado calor de hidratación
Tipo III	Alta resistencia inicial. El concreto elaborado con cemento tipo III desarrolla una resistencia a la compresión en 3 días igual a la desarrollada en 28 días por concreto elaborados por cemento tipo I o tipo II.
Tipo IV	Bajo calor de hidratación.
Tipo V	Alta resistencia a los sulfatos. Las aplicaciones típicas comprenden las estructuras hidráulicas expuestas a aguas con alto contenido de alcalis y estructuras expuestas al agua de mar.

Fuente: Elaboración propia en base a Abanto (2017)

Tabla 2 Tipos de cemento portland adicionados

TIPOS	ESPECIFICACIÓN
Tipo IP	Clinker + yeso + puzolana (contenido de puzolana: 15 % - 40%)
Tipo IPM	Clinker + yeso + puzolana (contenido de puzolana: menor a 15 %)

Fuente: Elaboración propia en base a Abanto (2017)

El cemento; elemento empleado en la construcción que tiene como característica principal el endurecimiento, el cual inicia su proceso de reacción química al mezclarse con el agua. Esta característica la hace muy útil para la construcción de edificaciones de todo tipo. Existen diferentes tipos de cemento en la industria de la construcción peruana. Se puede apreciar al cemento portland en la figura 11.



Figura 11 Cemento Portland tipo I

Fuente: Elaboración propia (2021)

2.2.4.1.3. Agua

De acuerdo con Abanto (2017), es el tercer componente del concreto, y conforma el 14 y 18 por ciento del volumen total, este componente hidrata al cemento generando reacciones químicas; cuando el agua tiene contacto con el cemento se denomina pasta y esto además lubrica a la mezcla manteniéndolo en estado fresco. El agua que se utilizará para su preparación deberá ser limpia y no debe de tener elementos que puedan afectar tanto al concreto como el acero, si es que se tratase de un concreto reforzado. Una muestra del agua se observa en la figura 12.



Figura 12 Agua para la elaboración del concreto

Fuente: Elaboración propia (2021)

Si hubiera el caso de usar agua de mar en la elaboración del concreto esta se debe usar con ciertas restricciones: para estructuras que presenten una RC menor a 175 kilogramos por centímetro cuadrado, para concretos que no sean pretensados ni postensados Abanto (2017).

2.2.4.1.4. Aire

El concreto también está compuesto de aire atrapado entre el 1 al 3 por ciento del volumen de la mezcla Abanto (2017). El aire también es un componente del concreto ya que durante el proceso de mezclado normalmente se queda aire incluido dentro de la mezcla, a esto se le conoce como aire naturalmente atrapado, el que será liberado mediante el proceso de compactación, no obstante, la compactación no siempre es correcta, quedando aire dentro de la masa endurecida; por otro lado se debe saber que algunas veces se incluyen aditivos incorporadores de aire con propósitos específicos que van a favorecer la construcción.

2.2.4.1.5. Aditivos

Son sustancias químicas que se agregan a las mezclas de concreto fresco con la finalidad de mejorar una de sus propiedades. En la ingeniería del concreto existe una serie de aditivos que mejoran una gran variedad de características de este. Algunas de las propiedades que se mejoran pueden ser trabajabilidad, resistencia, calor de hidratación, permeabilidad, entre otras. Tales propiedades son usualmente la RC, la trabajabilidad del estado fresco, la porosidad, entre otras magnitudes de interés. En el mercado peruano existen numerosos tipos de aditivos como: plastificante, reductor de agua; retardantes; acelerantes; incorporadores de aire, adhesivos, impermeabilizantes e inhibidores de corrosión Abanto (2017). Se puede apreciar en la figura 13 una muestra de aditivo.



Figura 13 Aditivo plastificante Sika

Fuente: Sika (2018)

De acuerdo con el mismo autor se debe de tener precaución en el empleo de aditivos ya que estos alteran las características del concreto que se encuentra fresco como en estado endurecido; un ejemplo de esta puede ser usando un aditivo incorporador de aire que va a generar mayor durabilidad, pero a la vez va a disminuir su resistencia. Por este motivo

es importante hacer un estudio cuidadoso para determinar una alternativa óptima.

2.2.4.2. Propiedades del concreto en estado fresco

2.2.4.2.1. Trabajabilidad

De acuerdo con Abanto (2017), la trabajabilidad del concreto se realiza en su estado fresco ya que en dicho estado se puede moldear, transportar y vaciar sin perder mucho su homogeneidad. Los aspectos que influyen esta propiedad del concreto son:

- La cantidad de agua en la preparación, a mayor agua es más trabajable el concreto.
- Cuanto más cantidad de agregado fino, el concreto es más trabajable.
- La aplicación de un aditivo plastificante en la mezcla del concreto aumentara su trabajabilidad.
- La forma y el tamaño del encofrado de las estructuras requeridas y también del proceso de compactación.

Ahmadi et. al (2017), manifiesta que la trabajabilidad es la propiedad más importante en el estado fresco del concreto. Esta propiedad evalúa el grado de fluidez de la mezcla del concreto y además nos indica si un concreto en estado fresco puede fluir dentro del encofrado. Existen concretos con muy poca fluidez que no podrían fluir adecuadamente dentro de encofrados con poco espacio, por lo que se generarían zonas e intersticios cuando la mezcla endurezca.

No hay ningún ensayo que permita medir la trabajabilidad, pero la trabajabilidad y la consistencia son propiedades que están muy relacionadas lo que esto conlleva a la consistencia ser un indicador de la trabajabilidad Abanto (2017).

2.2.4.2.2. Consistencia

Tener esta propiedad es el resultado de la cantidad del líquido empleado en la preparación del concreto, para determinar esta propiedad se debe de realizar el ensayo de consistencia o también denominado revenimiento, el cual se evalúa el comportamiento del concreto en estado fresco. El equipo que se debe emplear en este ensayo es un molde troncocónico que sirve para cuantificar el asentamiento de la mezcla posteriormente a su desmoldamiento, este molde tiene un diámetro superior de 10 centímetros y un diámetro inferior de 20 centímetros y una altura de 30 centímetros; además se emplea una herramienta de barra de acero lisa con punta semiesférica, teniendo un diámetro de 5/8 pulgadas y una longitud de 60 centímetros. Este ensayo se puede apreciar en la figura 14.



Figura 14 Ensayo de consistencia

Fuente: Elaboración propia (2021)

2.2.4.3. Propiedades del concreto en estado endurecido

2.2.4.3.1. Resistencia a la compresión

Según Hernandez, Gomez, Contreras C., Bravo, Padilla y Contreras A. (2018), indican esta propiedad permite al concreto la

resistencia de cargas de aplastamiento, lo que es muy común cuando se realizan estructuras que soportan esfuerzos solicitados; para medir la RC del concreto se realiza el ensayo de RC, en el cual se ensayan probetas de forma cilíndrica que soportarán cargas que se incrementen gradualmente con el tiempo.

De acuerdo con Abanto (2017), realizar fracturaciones de probetas de concreto de forma cilíndrica de diámetro de 15 centímetros y una longitud de 30 centímetros y se calcula de la última carga de fractura dividida entre el área de la sección de la probeta; este es el proceso para el ensayo de la RC. El resultado es usado para precisar más que todo si fue diseñada con una resistencia superior a la especificada. Para que la RC del concreto se considere optima y satisfactoria se deben de realizar por lo menos 3 ensayos que sean iguales o superiores a la resistencia especificada y no debe ser menor a 35 MPa. Se puede apreciar en la figura 15 el ensayo realizado para medir la resistencia.



Figura 15 Ensayo de resistencia a la compresión

Fuente: Elaboración propia (2021)

2.2.4.3.2. Resistencia a la tracción

La RT es una medida de la oposición del concreto el cual es separado en partes debido a esfuerzos de tensión. Algunos de los ensayos más usados para cuantificar la RT es el ensayo de RC indirecta.

Al respecto, Abanto (2017), señala que la RT está comprendida en 10 al 15 por ciento de su RC, que requiere la carga a compresión de una probeta de diámetro ya antes mencionada, a lo largo de dos líneas axiales diametralmente opuestas, hasta que se llegue a fracturar; y es así que se puede obtener la RT. Se puede apreciar en la figura 16 el ensayo de RC indirecta.



Figura 16 Ensayo indirecto de compresión

Fuente: Elaboración propia (2021)

2.2.4.3.3. Resistencia a la flexión

De acuerdo con Robles y Sánchez (2015), es un componente primordial que contribuye con la optimización del concreto empleado para los pavimentos, debido al tránsito de vehículos y también por las temperaturas diferentes a ambos lados de la losa.

Según McCormac y Brown (2018), cuando una viga es sometida a una carga en su lado transversal, y esta carga se va incrementando hasta que se fracture, ocurren 3 etapas: la primera es la etapa cuando el concreto aún no se agrieta, la segunda etapa es cuando se esfuerza y se produce elasticidad del concreto agrietado y la tercera etapa es la resistencia última. El MR es el esfuerzo de tensión por flexión, bajo el cual el concreto comienza a agrietarse, es por eso por lo que no se deben exceder las cargas excesivas que generan un esfuerzo de tensión sobrepasando el MR. Se forman grietas cuando el MR es igual a los esfuerzos de tensión en la parte inferior de esta.

Es la oposición que demuestra un elemento cuando se somete a fuerzas de flexión. Estos esfuerzos son una combinación de esfuerzos de tracción y compresión. Se puede apreciar en la figura 17 el ensayo de RF.



Figura 17 Ensayo de resistencia a la flexión

Fuente: Elaboración propia (2021)

2.2.5. Pavimento

Según lo estipulado en la normativa AASHTO 93 (American Association of State Highway and Transportation Officials) quién nos indica que de acuerdo a la ingeniería, el pavimento viene a ser el elemento estructural que se va a encontrar apoyado en la superficie del suelo, llamado sub rasante; esta superficie debe tener buenas propiedades para soportar el paquete estructural, es preciso mencionar que el paquete en mención tiene varias capas de diferentes espesores, del mismo modo tiene que estar diseñado para resistir cargas externas en el lapso de un determinado período de tiempo.

Los pavimentos son estructuras de gran rigidez que tienen por objetivo proteger el suelo de fundación de las carreteras y evitar la erosión causada típicamente por agentes ambientales tales como la lluvia, el viento y también protegerla de los agentes sociales, tales como las cargas vehiculares. Son usualmente elementos planos de grandes dimensiones y un espesor muy pequeño respecto del resto de sus dimensiones.

Podríamos decir entonces que el pavimento es la estructura vial que permite el tránsito vehicular, brindando comodidad y seguridad; para la construcción de estos pavimentos se pueden emplear materiales de diversos tipos debido a que la estructura está conformada por varias capas, las cuales usan materiales sometidos a diversos tratamientos.

Los pavimentos están conformados por capas de diversos materiales, debemos mencionar que la ausencia o el reemplazo de alguna de las capas va a depender de algunos factores como: soporte de la sub rasante, clase o tipo de material a usarse, intensidad de tránsito, entre otros.

2.2.5.1. Pavimento flexible

Es también conocido como pavimento asfáltico, como se puede apreciar en la figura 18, está compuesta por una carpeta de rodadura de material asfáltico en la superficie, la que va a permitir deformaciones pequeñas en las capas inferiores, generando pocas fallas en la estructura; por debajo se encuentra la subbase y la capa de base granular, las que permiten

distribuir y transmitir las cargas generadas por efectos del tránsito vehicular. Es preciso mencionar que este tipo de pavimento tiene una durabilidad entre 10 a 15 años y resulta económico en parte inicial de su construcción; teniendo como desventaja que se le debe hacer periódicamente un mantenimiento para que cumpla con su vida útil Medina y de la Cruz (2015).

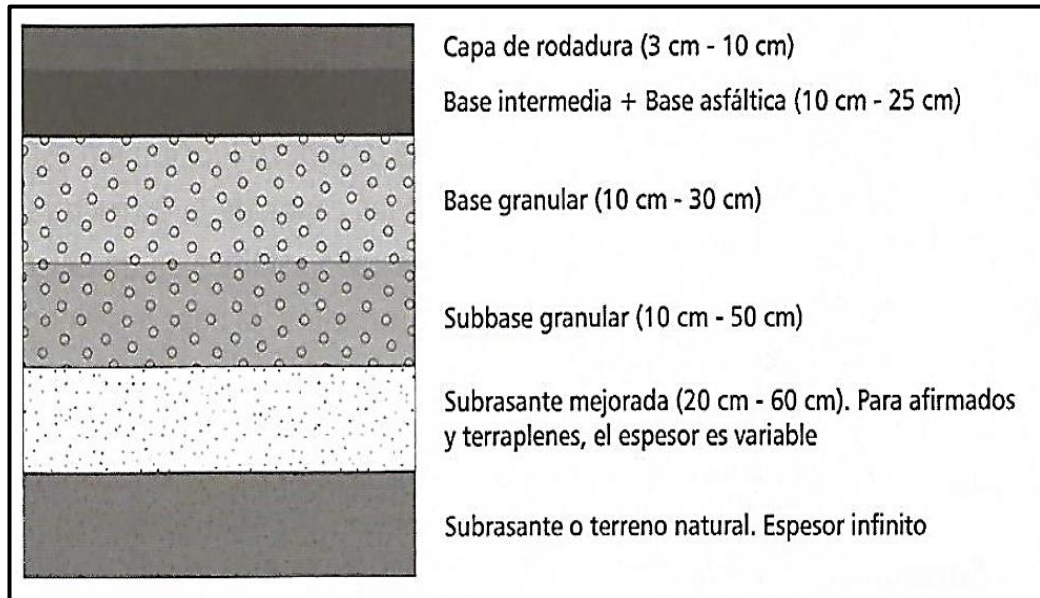


Figura 18 Perfil de un pavimento flexible

Fuente: Rondón y Reyes (2015)

2.2.5.2. Pavimento rígido

La estructura del pavimento rígido generalmente está conformada por una capa o losa de concreto hidráulico del rango entre 18 a 30 cm de espesor, apoyada sobre una capa granular no tratada o establecida con cementantes hidráulicos. Referente al valor del módulo elástico aumentado del concreto, los esfuerzos producidos por el tráfico son principalmente mitigados en flexión por la losa de concreto, y los esfuerzos de compresión se dividen en un área extensa y se transmiten al suelo en magnitudes muy disminuidas Rondón y Reyes (2015).

Los pavimentos rígidos son estructuras elaboradas de un material de gran resistencia y con un comportamiento frágil. Además, debido a que el concreto que se usa para la fabricación del pavimento es usualmente de baja RT, los espesores del concreto son grandes, por lo que su rigidez es

usualmente mayor. Este tipo de pavimento está compuesto por una losa de concreto y está apoyado en una base o en la sub rasante, siendo auto resistente con una dosificación de concreto controlada. Tal como se observa en la figura 19.

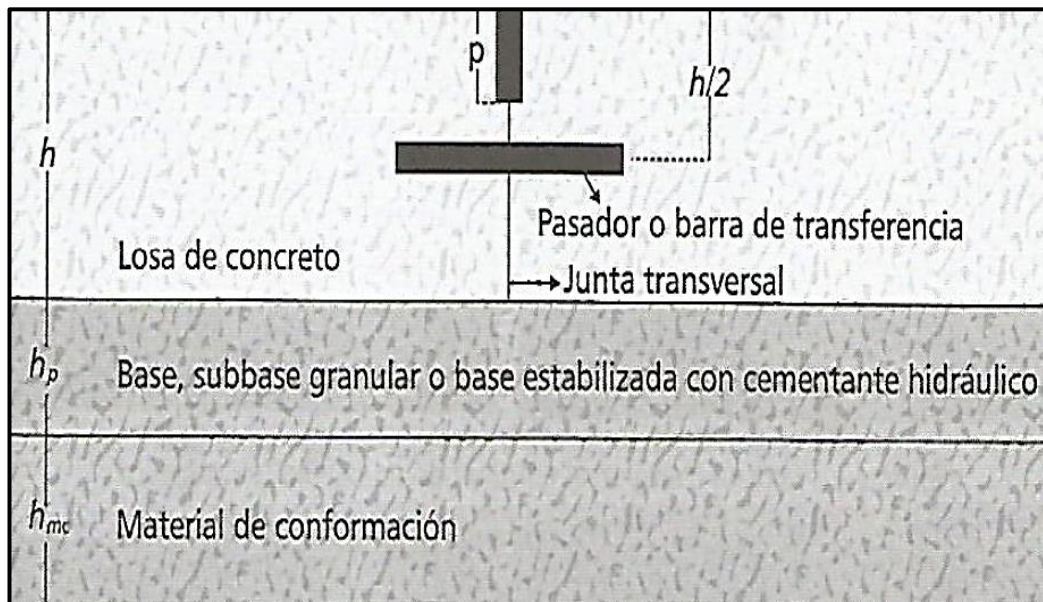


Figura 19 Perfil de un pavimento rígido

Fuente: Rondón y Reyes (2015)

Este pavimento está compuesto por:

- Losa de concreto: según García (2013), la losa de concreto tiene un precio muy alto en comparación con un pavimento con características de flexibilidad y su lapso de vida oscila entre los 20 y 40 años, el mantenimiento que necesita es mínimo y se da principalmente en el procedimiento de juntas de las losas.
- Subbase: está compuesta por una capa o más, el cual están compactadas y son de material granular, teniendo como función primordial la de prevenir el bombeo de los suelos, esta se encuentra entre las obras ante y la losa de concreto.

2.2.6. Estudio del tráfico

El estudio del tráfico es uno de los parámetros principales al momento de diseñar un pavimento rígido. El estudio da inicio cuando se determinan los tipos de vehículos que suelen frecuentar por una vía específica, teniendo en cuenta que estos podrían cambiar en el tiempo. Otro parámetro importante es la determinación de las cargas que estos vehículos transmiten a través de los ejes que se componen; Asimismo, otro parámetro importante a la hora de diseñar pavimentos rígidos es la determinación de las frecuencias con las que estas cargas se dan en el tiempo. Finalmente, un parámetro tan importante como los anteriores es la predicción del crecimiento de la demanda vehicular de la vía de estudio. Esto se puede hacer mediante el uso de modelos probabilísticos bien calibrados.

Como resulta evidente de la discusión realizada previamente, resulta un proceso arduo y complejo tratar de modelar la aplicación de las cargas vehiculares sobre el pavimento rígido de manera usual, pues además de existir numerosos tipos de cargas, resultará evidente para el lector que estas cargas son dinámicas, y altamente variables en el tiempo, por lo que no tiene sentido modelar la demanda de cargas de manera puntual. En lugar de eso, las metodologías disponibles para el diseño de pavimentos rígidos introducen el concepto conocido ampliamente en los cursos de diseño de pavimentos rígidos como ESAL (Equivalent Single Axes Line) o número de ejes equivalentes simples. Este parámetro representa la suma total de las cargas aplicadas por cada eje o un eje simple equivalente.

2.2.7. Metodología de diseño de espesores Aashto 93

De acuerdo a lo que el MTC (2013), recomienda, se debe emplear la metodología Aashto 93, resaltando que el diseño busca dar un servicio de nivel alto; tomando en cuenta la medida que transcurra el tiempo de la misma manera las cargas que provienen del tránsito recaen sobre el nivel de servicio de la vía. Este método está diseñado para que la estructura vial soporte y llegue a cumplir su vida útil.

Se busca el equilibrio en la ecuación planteada por el método Aashto 93, mediante procesos iterativos asumiendo espesores de la estructura del pavimento rígido con la finalidad que la estructura determinada imponga un nivel de servicio final apropiado y se mantenga durante el periodo de diseño.

Ecuación 1 Ecuación de la metodoliga Aashto 93

$$\begin{aligned} \log_{10} W_{82} = & ZR \cdot S_o + 7.35 \log_{10}(D + 25.4) - 10.39 + \frac{\log_{10} \left(\frac{\Delta PSI}{4.5 - 1.5} \right)}{1 + \frac{1.25 \times 10^{19}}{(D + 25.4)^{8.46}}} \\ & + (4.22 - 0.32Pt) \times \log_{10} \left[\frac{MrCd \times (0.09D^{0.75} - 1.132)}{1.51 \times J \left(0.09D^{0.75} - \frac{7.38}{(Ec/K)^{0.25}} \right)} \right] \end{aligned}$$

Fuente MTC (2013)

Donde:

W8.2 = número previsto de ejes equivalentes de 8.2 toneladas métricas a lo largo del periodo de diseño

ZR = desviación normal estándar

SO = error estándar combinado en la predicción del tránsito y en la variación del comportamiento esperado del pavimento

D = espesor de pavimento de concreto, en milímetros

ΔPSI = diferencia entre los índices de servicio inicial y final

Pt = índice de serviciabilidad o servicio final

Mr = resistencia media del concreto (en Mapa) a flexo tracción a los 28 días (método de carga en los tercios de luz)

Cd = coeficiente de drenaje

J = coeficiente de transmisión de carga en las juntas

Ec = módulo de elasticidad del concreto, en Mpa

K = módulo de reacción, dado en Mpa/m de la superficie (base, subbase o subrasante) en la que se apoya el pavimento de concreto.

Figura 20 Descripción de los componentes de la ecuación AASHTO

Fuente: Elaboración propia en base a MTC (2013)

2.2.7.1. Periodo de diseño

El periodo de diseño a utilizar según el MTC (2013), indica que se requiere tomar como mínimo 20 años o caso contrario se debe de ajustar de acuerdo a las condiciones específicas del proyecto.

2.2.7.2. Ejes equivalentes

Los ejes equivalentes se encuentran asociados al tiempo de periodo para la vía en diseño. Los ejes equivalentes expresan la transformación de todos los ejes de los vehículos a ejes de 8.2 toneladas usualmente llamadas ESAL (Equivalent Single Axial Load).

El MTC (2013), define en 3 categorías para el tráfico y el diseño de pavimentos rígidos, como se observa en la tabla 3.

Tabla 3 Categoría de Transito según ejes equivalentes

TIPO DE CAMINOS	TRÁFICO	EJES EQUIVALENTES	
Caminos de Bajo Volumen de Tránsito	Tp1	150001	300000
	Tp2	300001	500000
	Tp3	500001	750000
	Tp4	750001	1000000
Caminos con un transito	Tp5	1000001	1500000
	Tp6	1500001	3000000
	Tp7	3000001	5000000
	Tp8	5000001	7500000
	Tp9	7500001	10000000
	Tp10	10000001	12500000
	Tp11	12500001	15000000
	Tp12	15000001	20000000
	Tp13	20000001	25000000
	Tp14	25000001	30000000
Caminos con un transito especial	Tp15	>30,000,000	

Fuente: Elaboración propia en base a MTC (2013)

2.2.7.3. Serviciabilidad

Este criterio se caracteriza con dos valores o medidas como son el índice de servicio inicial “Pi” e índice de servicio final “Pt”, cabe resaltar que para la ecuación de equilibrio del Aashto 93 se ingresa la diferencia de los índices de servicio (Δ PSI).

La serviciabilidad es la capacidad del pavimento de servir al tránsito que transcurre la vía y se mide con una escala de 0 a 5, donde 0 se refiere a una vía intransitable y 5 una vía de excelente servicio, el AASHTO 93 emplea 1.5 como índice de serviciabilidad terminal del pavimento. En la tabla 4 se observa los valores recomendados por el MTC (2013), según tráfico y ejes equivalentes de la vía a diseñar.

Tabla 4 Serviciabilidad según tráfico y ejes equivalentes

TIPO DE CAMINOS	TRÁFICO	EJES EQUIVALENTES		INDICE DE SERVIABILIDAD		
				INICIAL (Pi)	FINAL (Pt)	VARIACIÓN
Caminos de Bajo Volumen de Tránsito	Tp1	150001	300000	4.1	2	2.1
	Tp2	300001	500000	4.1	2	2.1
	Tp3	500001	750000	4.1	2	2.1
	Tp4	750001	1000000	4.1	2	2.1
Caminos con un tránsito	Tp5	1000001	1500000	4.3	2.5	1.8
	Tp6	1500001	3000000	4.3	2.5	1.8
	Tp7	3000001	5000000	4.3	2.5	1.8
	Tp8	5000001	7500000	4.3	2.5	1.8
	Tp9	7500001	10000000	4.3	2.5	1.8
	Tp10	10000001	12500000	4.3	2.5	1.8
	Tp11	12500001	15000000	4.3	2.5	1.8
	Tp12	15000001	20000000	4.5	3	1.5
	Tp13	20000001	25000000	4.5	3	1.5
	Tp14	25000001	30000000	4.5	3	1.5
Caminos con un tránsito especial	Tp15	>30,000,000		4.5	3	1.5

Fuente: Elaboración propia en base a MTC (2013)

La figura 21 presenta la decadencia del índice de serviciabilidad de acuerdo al tiempo de vida del pavimento rígido.

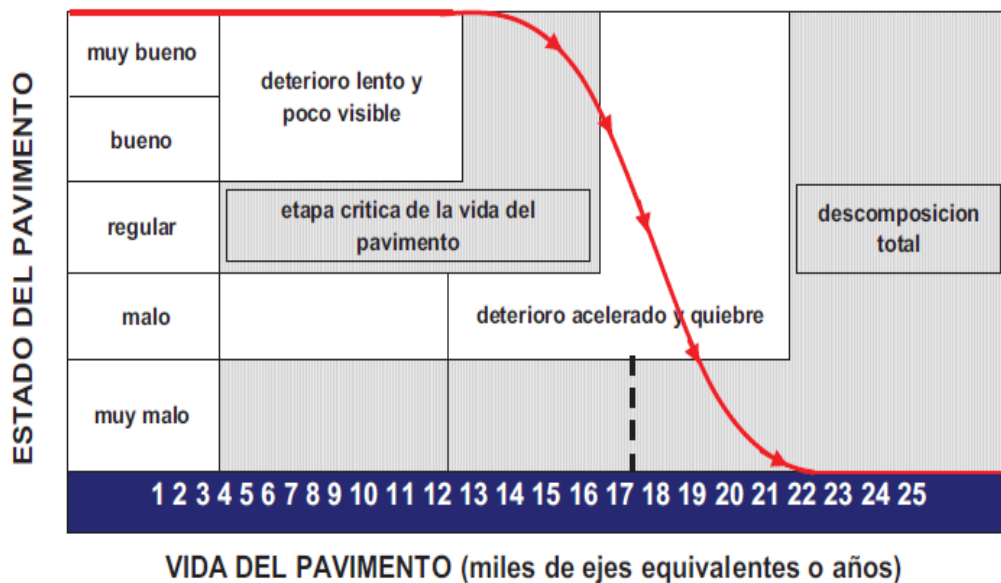


Figura 21 Grafica de índice de serviciabilidad de acuerdo con la vida del pavimento

Fuente: MTC (2013)

2.2.7.4. Confiabilidad y desviación estándar

Para medir la confiabilidad tiene la pauta de asignar un valor a la inconstancia de los materiales y procesos de construcción, pues esto hace que los pavimentos preparados presenten diferentes comportamientos. Además, es un factor de seguridad que incrementa la cantidad de tránsito al transcurrir el tiempo de diseño, analizando los datos estadísticos que se requieren para determinar una distribución normal de las variables involucradas.

El método AASHTO recomienda valores de desviación estándar (S_o) de 0.30 a 0.40 y el MTC (2013) recomienda $S_o = 0.35$.

El MTC (2013), presenta una serie de valores recomendados para la confiabilidad (R) y desviación estándar (Z_r) para un periodo de diseño de veinte años en respecto al tráfico y ejes equivalentes. Se puede observar en la tabla 5.

Tabla 5 Confiabilidad y desviación estándar normal según tipo de tráfico

TIPO DE CAMINOS	TRÁFICO	EJES EQUIVALENTES ACUMULADOS		NIVEL DE CONFIANZA	DESVIACIÓN ESTANDAR NORMAL (Zr)
Caminos de Bajo Volumen de Tránsito	Tp0	100000	150000	0.65	-0.385
	Tp1	150001	300000	0.7	-0.524
	Tp2	300001	500000	0.75	-0.674
	Tp3	500001	750000	0.8	-0.842
	Tp4	750001	1000000	0.8	-0.842
Resto de Caminos	Tp5	1000001	1500000	0.85	-1.036
	Tp6	1500001	3000000	0.85	-1.036
	Tp7	3000001	5000000	0.85	-1.036
	Tp8	5000001	7500000	0.9	-1.282
	Tp9	7500001	10000000	0.9	-1.282
	Tp10	10000001	12500000	0.9	-1.282
	Tp11	12500001	15000000	0.9	-1.282
	Tp12	15000001	20000000	0.9	-1.282
	Tp13	20000001	25000000	0.9	-1.282
	Tp14	25000001	30000000	0.9	-1.282
	Tp15		>30,000,000	0.95	-1.645

Fuente: Elaboración propia en base a MTC (2013)

2.2.7.5. Suelo y efecto de las capas de apoyo

El módulo de reacción (K) de la subrasante es lo que caracteriza para determinar qué tipo de subrasante es la existente. Además, si se coloca una capa granular el módulo de reacción será el combinado (Kc). Según el MTC (2013), empleara la alternativa que otorga la AASHTO cual el módulo de reacción se determina a partir del CBR y la clasificación del suelo como se observa en la figura 22.

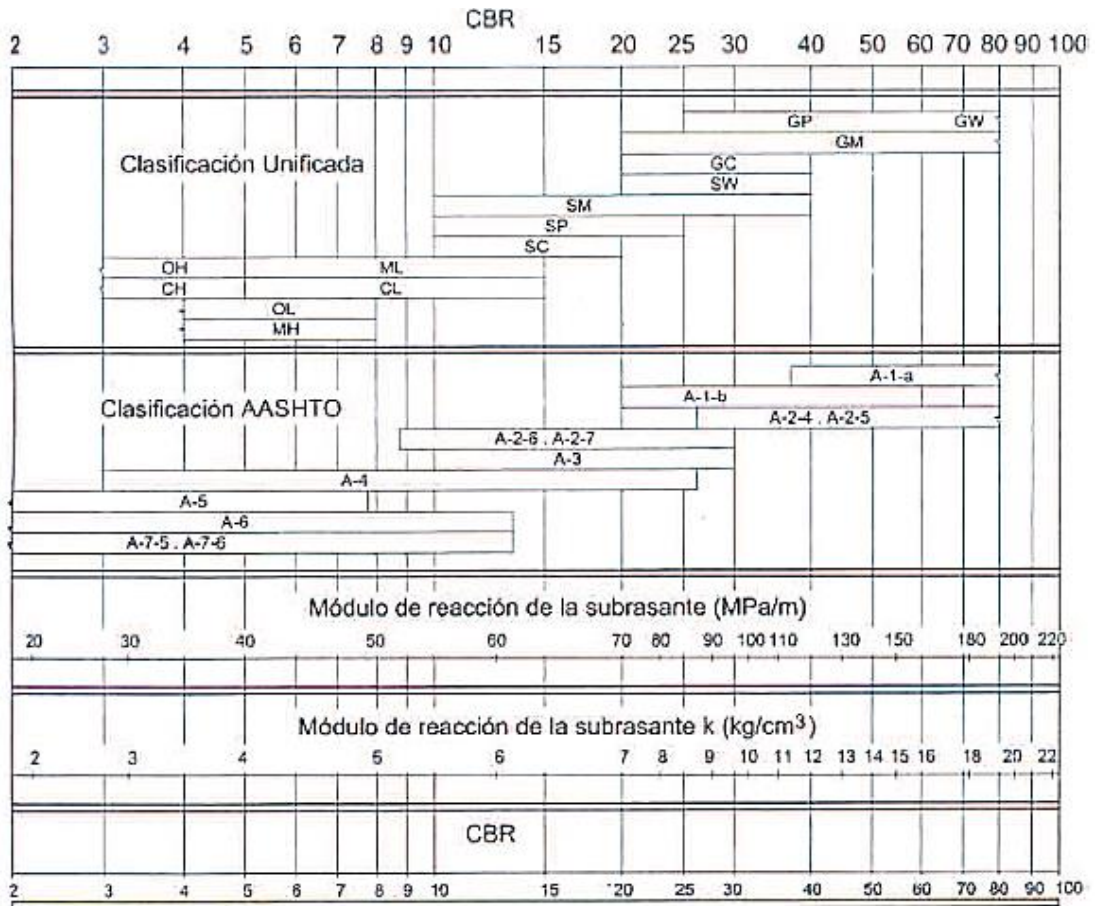


Figura 22 Correlación CBR y módulo de reacción

Fuente: MTC (2013)

El MTC (2013), indica que para que una subrasante se considere apta esta debe de tener un CBR igual o mayor a 6%, si no cumple esta condición se estabilizara el suelo.

Si la estructura del pavimento esta compuesta por una sub base granular o con base de mejor calidad que supere a la subrasante, este coeficiente se determinará con la siguiente ecuación:

$$Kc = \left[1 + \left(\frac{h}{38} \right)^2 \times \left(\frac{K1}{Ko} \right)^{2/3} \right]^{0.5} \times Ko$$

Donde:

- **K1 (kg/cm3)** = Reacción de la sub base granular.
- **Kc (kg/cm3)** = Reacción combinado.
- **Ko (kg/cm3)** = Reacción de la subrasante.

- **h** = Espesor de la sub base granular.

El MTC (2013), en la tabla 6 recomienda CBR mínimos según tipo de tráfico y ejes equivalentes.

Tabla 6 CBR mínimos recomendados para la SubBase Granular

TRÁFICO	ENSAYO NORMA	REQUERIMIENTO
Para tráfico $\leq 15 \times 10^6$ EE	MTC E 132	CBR mínimo 40%
Para tráfico $> 15 \times 10^6$ EE	MTC E 132	CBR mínimo 60%

Fuente: Elaboración propia en base a MTC (2013)

2.2.7.6. Resistencia a flexotracción del concreto

Es una primordial característica de los pavimentos de concreto como lo indica el MTC (2013). Para obtener la RF se realiza el ensayo con muestras de vigas que se debe ensayar a los 28 días de curado, aplicando la carga en los tercios de la viga.

El MTC (2013), recomienda valores de MR y RC de acuerdo al tráfico expresado en ejes equivalentes que se observa en la tabla 7.

Tabla 7 Valores recomendados de resistencia del concreto

RANGOS DE TRÁFICO	RESISTENCIA MÍNIMA A LA FLEXOTRACCIÓN DEL CONCRETO (MR)	RESISTENCIA MÍNIMA EQUIVALENTE A LA COMPRESIÓN DEL CONCRETO ($f'c$)
$\leq 5.000.000$ EE	40kg/cm ²	280kg/cm ²
$> 5.000.000$ EE	42kg/cm ²	300kg/cm ²
$\leq 15.000.000$ EE	45kg/cm ²	350kg/cm ²
$> 15.000.000$		

Fuente: Elaboración propia en base a MTC (2013)

El MR del concreto se correlaciona con la RC ($f'c$) del concreto y según el ACI 363, los valores de a varían entre 1.99 y 3.18. Mediante la siguiente ecuación:

$$MR = a\sqrt{f'c}$$

2.2.7.7. Módulo elástico del concreto

Este módulo puede ser previsto por la RC o RF mediante correlaciones establecidas.

Respecto a concretos de altos desempeños que demuestran una compresión superior a 40Mpa, la estimación puede ser incierta. AASHTO 93 indica que el módulo elástico puede ser calculado mediante una correlación, recomendado por el ACI:

$$E = 57000 \times (f'c)^{0.5} \rightarrow f'c \text{ en PSI}$$

2.2.7.8. Drenaje

El drenaje representa la probabilidad de las capas que soportan a losa de concreto mantenga humedad en un determinado tiempo, el nivel de drenaje depende del tipo y permeabilidad de la subbase, tipo de subrasante, condición climática, grado de precipitación entre otras.

De acuerdo con el MTC (2013), el drenaje presenta valores comprendidos entre 0.7 y 1.25 de acuerdo a las condiciones ya mencionadas; un drenaje bueno tiene un valor alto y esto contribuye a la mejora de la estructura.

Para determinar el Coeficiente de drenaje C_d primero se debe determinar la calidad del material como drenaje en función de sus dimensiones, granulometría y características de permeabilidad. Si el material luego de ser saturado cumple con la condición que se presenta en la tabla 8.

Tabla 8 Condición de drenaje

Calidad de Drenaje	50% de saturación en:	85% de saturación en:
Excelente	2 horas	2 horas
Bueno	1 día	2 a 5 horas
Regular	1 semana	5 a 10 horas
Pobre	1 mes	más de 10 horas
Muy Pobre	El agua no drena	mucho más de 10 horas

Fuente: Elaboración propia en base a MTC (2013)

Determinada la condición de drenaje se halla el Cd en el cual se correlaciona con el grado de exposición de la estructura a niveles de humedad cercanos a la saturación según tabla 9.

Tabla 9 Coeficiente de drenaje

Calidad de drenaje	% de tiempo en que el pavimento esta expuesto a niveles de humedad próximos a la saturación			
	< 1%	1 a 5%	5 a 25%	> 25%
Excelente	1.25 - 1.20	1.20 - 1.15	1.15 - 1.10	1.1
Bueno	1.20 - 1.15	1.15 - 1.10	1.10-1.00	1
Regular	1.15 - 1.10	1.10 - 1.00	1.00 - 0.90	0.9
Pobre	1.10 - 1.00	1.00 - 0.90	0.90 - 0.80	0.8
Muy Pobre	1.00 - 0.90	0.90 - 0.80	0.80 - 0.70	0.7

Fuente: Elaboración propia en base a MTC (2013)

2.2.7.9. Transferencia de cargas

Según el MTC (2013), es un término utilizado para describir la transferencia o distribución de la carga a través de discontinuidades como juntas o grietas. Cuando se aplica una carga de rueda en una junta o grieta, tanto la losa cargada como la losa adyacente descargada se desvían. La cantidad de deflexión de la losa descargada está directamente relacionada con el desempeño de la junta. Si una junta funciona perfectamente, las losas cargadas y descargadas se debían por igual. Se puede apreciar en la tabla 10.

Tabla 10 Valores de coeficiente de transmisión de carga J

TIPO DE BERMA	Valores de Coeficiente de transmisión de Carga J			
	GRANULAR O ÁSFALTICA		CONCRETO HIDRAULICO	
Valores J	Con pasadores	Sin pasadores	Con pasadores	Sin pasadores
	3.2	3.8-4.4	2.8	3.8

Fuente: Elaboración propia en base a MTC (2013)

2.3. Definición de términos básicos

- Cargas de tráfico: Son cargas que generan los vehículos de transporte terrestre al pasar por la superficie de un pavimento.
- Concreto: Mezcla de agregados tanto finos como gruesos, agua, cemento portland y con o sin aditivos.
- Concreto reforzado: Concreto con armadura de refuerzo no menor a la cantidad mínima de acero.
- Fibras de acero: Filamentos de metal que se utilizan para reforzar las propiedades mecánicas del concreto.
- Fibras de acero recicladas: Fibras de metal que han sido extraídas de neumáticos reciclados.
- Módulo de rotura: Se refiere a la resistencia máxima determinada a través de un ensayo de flexión. Parámetro que se utiliza como variable para el diseño de un pavimento rígido.
- Neumáticos: Son objetos usados para el rodamiento de vehículos de transporte terrestre.
- Pavimento: Estructura que se ha construido en la sub rasante, que tiene la finalidad de soportar y distribuir las cargas ocasionadas por los vehículos y brindar seguridad a los usuarios de la vía generando comodidad al tránsito.
- Pavimento rígido: Pavimento con una estructura de losa de concreto hidráulico, puede ser de concreto simple o reforzado.
- Resistencia a la flexión: Capacidad del concreto a resistir esfuerzos de flexión.

2.4. Hipótesis

2.4.1. Hipótesis general

La aplicación de las fibras de acero recicladas en el concreto reforzado mejora las propiedades de un pavimento rígido.

2.4.2. Hipótesis específicas

- Hipótesis específica 1: El módulo de rotura se incrementa en 10% en el concreto reforzado con fibras de acero recicladas de un pavimento rígido.
- Hipótesis específica 2: La resistencia a la compresión se incrementa en 5%, en el concreto reforzado con fibras de acero recicladas en un pavimento rígido.
- Hipótesis específica 3: El espesor del pavimento rígido se reducirá en 5cm con la aplicación de fibras de acero recicladas en comparación de un concreto sin fibras de acero.

CAPÍTULO III. METODOLOGÍA

3.1. Enfoque de investigación

De acuerdo con Hernández, Fernández y Baptista (2014), se aplica un único enfoque a todo trabajo de ingeniería civil es cuantitativo, evidentemente, pues se trata del análisis cuantitativo de datos y existe una hipótesis a diferencia de trabajos e investigaciones heurísticos.

Este trabajo de investigación nos permite reflejar directamente un enfoque cuantitativo porque se generalizan los resultados, en otros términos, se predice la hipótesis.

3.2. Tipo de investigación

Acorde con Hernández et. al (2014), una investigación aplicada es aquella que pretende la solución de una problemática existente, y para esto se vale del estado del conocimiento existente dentro de muchas disciplinas como la mecánica, el análisis estructural entre otras. De acuerdo con esta definición, la problemática y objetivos de esta tesis, viene a ser una investigación de tipo aplicada, pues pretende resolver o aminorar una realidad problemática, acerca de la deficiente RT del concreto.

3.3. Nivel de investigación

Esta tesis presenta un nivel correlacional, pues pretende vincular las variables dependientes con las variables independientes. De hecho, de acuerdo con Hernández et. al (2014), los trabajos de nivel correlación buscan establecer una relación entre las magnitudes de estudio.

3.4. Diseño de investigación

Esta investigación contempla un diseño experimental, ya que se realiza una preparación del concreto reforzado incluyendo las FAR para ser ensayadas en flexión, esperando determinar el MR para luego dar solución a los problemas de la presente investigación.

3.5. Variables

3.5.1. Variable independiente

- Variable (x): Fibras de acero recicladas.
- Concepto: Fibras de metal que han sido extraídas de neumáticos reciclados.
- Indicador: Peso y longitud de las fibras que serán utilizadas por m³ de mezcla de concreto.

3.5.2. Variable dependiente

- Variable (y): Propiedades del pavimento rígido.
- Concepto: Son las características que definen la naturaleza de un pavimento rígido. Estas incluyen a las propiedades mecánicas y a las propiedades geométricas, tales como el espesor.
- Indicador: Módulo de rotura.
- Indicador: Resistencia a la compresión.
- Indicador: Espesor del pavimento.

3.6. Operacionalización de las variables

Tabla 11 Operacionalización de las variables

VARIABLE INDEPENDIENTE	DIMENSIONES	INDICADORES
Fibras de acero recicladas	Peso	Contenido en peso en el diseño de mezclas
	Longitud	Longitud de las fibras elegidas para el estudio
VARIABLE DEPENDIENTE	DIMENSIONES	INDICADORES
Propiedades del pavimento rígido	Módulo de rotura	Cargas actuantes a flexión
	Resistencia a la compresión	Cargas actuantes a compresión
	Espesor del pavimento	Valores del expediente técnico

Fuente: Elaboración propia (2021)

3.7. Población y muestra

Se dará inicio esta sección estableciendo el concepto de unidad de análisis, haciendo referencia a Hernández et. al (2014). La unidad de análisis es el ente del que se desea obtener información o, en general del que se desea obtener alguna conclusión.

De acuerdo con esta definición y considerando que el primordial objetivo de esta investigación evaluar la influencia del uso de concreto reforzado con ciertos contenidos de FAR.

Ahora, de acuerdo con Hernández et. al (2014), la población se puede definir como el grupo de análisis disponibles dentro del espacio y tiempo de interés del estudio. Como se puede observar, la población no puede ser el conjunto de todas las probetas reforzadas con fibras de acero del mundo, sería algo irracional. En este caso la población vendría definida por las probetas de concreto fabricadas para estudiar el efecto que tienen las FAR en la RF del concreto.

Acorde con el mismo autor, la muestra es una parte de la población, elegida usualmente cuando es imposible el estudio del conjunto de unidades del estudio de la población, ya sea por el hecho de que éstas son tan grandes que resultaría imposible, o inabordable, tanto por cuestiones de tiempo, como por temas económicos.

Como se comentó en la sección pertinente, la población se define de manera arbitraria en el caso de que las unidades de análisis no existían, y estas si son finitas y abordables, no es necesario definir una muestra. Se observa la tabla 12 y 13, que corresponde a las unidades de análisis definidas para su estudio.

Tabla 12 Muestra de ensayo de resistencia a la flexión

Ensayo de resistencia a la flexión	N° de vigas
Concreto sin refuerzo	3
Concreto reforzado con 1% de fibras recicladas	3
Concreto reforzado con 1.5% de fibras recicladas	3
Concreto reforzado con 2% de fibras recicladas	3

Fuente: Elaboración propia (2021)

Tabla 13 Muestra de ensayo de resistencia a la compresión

Ensayo de resistencia a la compresión	N° de probetas
Concreto sin refuerzo	3
Concreto reforzado con 1% de fibras recicladas	3
Concreto reforzado con 1.5% de fibras recicladas	3
Concreto reforzado con 2% de fibras recicladas	3

Fuente: Elaboración propia (2021)

En conclusión, se establece que para la presente investigación se utilizará una muestra de 12 vigas y 12 probetas para ser sometidas a ensayos de RF y RC.

3.8. Recolección de datos

Según Hernández et. al (2014), el procedimiento de recolección de información es mecánico en el que se acumula cuantiosos datos sobre las magnitudes de estudio de la unidad de análisis. Para este proceso es usual que el investigador defina una serie de fichas de recolección de datos, ya sean éstos cualitativos o cuantitativos.

En el presente caso de estudio estos datos serían recolectados mediante una aplicación de una serie de técnicas establecidas a numerosos protocolos de investigación y normas de laboratorio. Estos datos se observan en la tabla 14.

Tabla 14 Proceso de trabajo

ETAPA	TÉCNICA	INSTRUMENTO
Diseño de mezclas de concreto	Dosificación de materiales	Método del ACI
Determinación de la cantidad de fibras	Peso por metro cubico	Referencias de otros autores
Fabricación de las vigas y probetas	Elaboración manual	Método normas ASTM y NTP
Curado de las vigas y probetas	Curado en agua	Método normas ASTM y NTP
Ensayo de resistencia a la flexión	Ensayo en maquina universal	Método normas ASTM y NTP
Ensayo de resistencia a la compresión	Ensayo en maquina universal	Método normas ASTM y NTP

Fuente: Elaboración propia (2021)

En la mencionada tabla se puede observar el proceso técnico que será implementada en esta tesis con el fin de obtener respuestas a las interrogantes de la investigación. El primer paso establecido es el diseño de mezcla de concreto por el método ACI. Este paso no es otra cosa que el proporcionamiento de los componentes de la mezcla. Siendo específicos, esto implica decir cuánto de cemento se requiere, cuánto de agregado grueso, cuanto, de agregado fino, entre otros.

El siguiente paso es establecer las dosificaciones de FAR. Este paso se dará en función de las cantidades de acero establecidas en investigaciones previas o en los antecedentes.

Una vez obtenido el diseño de mezclas y los contenidos de FAR se deberán fabricar las mezclas de concreto y los especímenes establecidos en la sección de muestreo. En el presente estudio solo será necesario la definición de vigas de concreto, con el fin de medir la RF del concreto reforzado con FAR. Esto es absolutamente necesario, pues el diseño de pavimentos rígidos requiere de la definición del MR.

Se realizarán los ensayos de RC de las probetas de concreto con FAR.

Finalmente, se ensayan los especímenes fabricados en el acápite anterior, mediante un ensayo de RF y RC.

Las técnicas de análisis empleadas dentro del desarrollo de esta investigación será la técnica de la observación. La primera técnica involucra la definición del estudio y a partir de esta definición, definir las magnitudes a medirse directamente. Una vez definidas las variables se realizan mediciones sobre las magnitudes analizadas.

3.9. Instrumentos de recolección de datos

Los instrumentos de recolección de datos que se utilizarán en el presente trabajo de investigación son:

- Formatos de recolección de datos para los ensayos
- Programa Microsoft Excel
- Máquina universal de ensayo de materiales

3.10. Técnicas de procesamiento de datos

Las técnicas empleadas para el análisis de datos consistirán en la descomposición de los resultados que se han recolectado en el laboratorio y el procesamiento de estas para la obtención de los esfuerzos asociados a las condiciones de falla de cada espécimen.

3.11. Instrumentos de procesamiento de datos

El procesamiento de los datos se realizará mediante hojas de cálculos programadas en Excel, de acuerdo con las necesidades específicas de cada fase del proyecto. Por ejemplo, la determinación de los esfuerzos de rotura de las muestras de concreto se determinará haciendo uso de hojas de cálculo, mientras que las realizaciones en grafico comparativas y analíticas serán desarrollados en Excel, pues es un software mucho más versátil para este fin.

CAPÍTULO IV. DESARROLLO

4.1 Ubicación del proyecto

El desarrollo del presente proyecto de investigación se realizó dentro de los límites políticos de Lima Metropolitana.

4.2 Dosificación de las fibras de acero recicladas para el ensayo a flexión

De acuerdo con los antecedentes analizados, el estudio del efecto de las FAR en el comportamiento del concreto depende de la cantidad de fibras consideradas en el diseño de mezclas, es así que se deberá estudiar su efecto en el concreto. Es así que se ha considerado estudiar contenidos en volumen de 1%, 1.5% y 2%.

Para estimar el peso de las fibras necesarias para su fabricación se estimará el peso de los especímenes prismáticos. De acuerdo con la normativa existente las dimensiones de la viga tienen sección transversal de 15cm x 15cm, mientras que su largo es de 50cm. De acuerdo con esto, el volumen alcanzado fue de 11250 cm³ o su equivalente en litros de 11.25 l.

Ahora, considerando que el peso específico del concreto simple es de aproximadamente 2300kg/m³, el peso de una viga será de 25.875kg. Considerando el peso de una muestra de viga y tomando en cuenta que el contenido de FAR para los estudios será de 1%, 1.5% y 2%, el peso de las FAR se indica a continuación:

- Viga de concreto con 1% de contenidos de FAR

$$\text{Peso de las fibras} = 0.01 \times 25.875\text{kg} = 0.26\text{kg}$$

- Viga de concreto con 1.5% de contenidos de FAR

$$\text{Peso de las fibras} = 0.015 \times 25.875\text{kg} = 0.39\text{kg}$$

- Viga de concreto con 2% de contenidos de FAR

$$\text{Peso de las fibras} = 0.02 \times 25.875\text{kg} = 0.52\text{kg}$$

Los resultados mostrados en las líneas anteriores son las cantidades de FAR que se deberán colocarse en cada viga de concreto. Tomando en cuenta que se ensayarán tres vigas por cada contenido, considerando se tiene lo siguiente:

- 3 vigas sin FAR

$$\text{Fibras} = 0 \text{ kg}$$

- 3 vigas con 1% de FAR

$$\text{Fibras} = 0.78 \text{ kg}$$

- 3 vigas con 1.5% de FAR

$$\text{Fibras} = 1.16 \text{ kg}$$

- 3 vigas con 2% de FAR

$$\text{Fibras} = 1.55 \text{ kg}$$

Con estas consideraciones, la cantidad total de FAR que deberán tenerse para la elaboración de vigas el cual será en total de 3.49kg.

4.3 Dosificación de las fibras de acero recicladas para el ensayo a compresión

Para obtener la dosificación de las FAR para el ensayo a compresión realizamos el mismo procedimiento en el subtítulo anterior, lo único que cambia es el volumen de la probeta, el cual se seguirá utilizando los mismos porcentajes.

De acuerdo con la normativa existente las dimensiones de la probeta de concreto tienen un radio de 15cm y una altura de 30cm. De acuerdo con esto, el volumen alcanzado fue de 5300 cm³ o su equivalente en litros de 5.3l.

Ahora, considerando que el peso específico del concreto simple es de aproximadamente 2300kg/m³, el peso de una probeta será de 12.187kg.

Considerando el peso de una probeta y tomando en cuenta que el contenido de FAR para los estudios será de 1%, 1.5% y 2%, el peso de las FAR se indica a continuación:

- Probeta de concreto con 1% de contenidos de FAR

$$\text{Peso de las fibras} = 0.01 \times 12.187 \text{kg} = 0.12 \text{kg}$$

- Probeta de concreto con 1.5% de contenidos de FAR

$$\text{Peso de las fibras} = 0.015 \times 12.187 \text{kg} = 0.18 \text{kg}$$

- Probeta de concreto con 2% de contenidos de FAR

$$\text{Peso de las fibras} = 0.02 \times 12.187 \text{kg} = 0.24 \text{kg}$$

Los resultados mostrados en las líneas anteriores son las cantidades de FAR que se deberán colocarse en cada probeta de concreto. Tomando en cuenta que se ensayarán tres probetas por cada contenido, considerando se tiene lo siguiente:

- 3 probetas sin FAR

$$\text{Fibras} = 0 \text{ kg}$$

- 3 probetas con 1% de FAR

$$\text{Fibras} = 0.36 \text{ kg}$$

- 3 probetas con 1.5% de FAR

$$\text{Fibras} = 0.54 \text{ kg}$$

- 3 probetas con 2% de FAR

$$\text{Fibras} = 0.72 \text{ kg}$$

Con estas consideraciones, la cantidad total de FAR que deberán tenerse para la fabricación de las probetas será en total de 1.62kg.

4.4 Recolección de neumáticos en desuso

Para la recolección de neumáticos en desuso, se buscaron botaderos y llanterías. El botadero donde se encontraban las llantas en desuso fue el botadero de Cieneguilla, como podemos ver en la figura 23 y una llantería donde se obtuvieron los neumáticos en desuso, ubicada en la avenida Trapiche en el distrito de Comas, como podemos ver en la figura 24.



Figura 23 Recolección de neumáticos en desuso – Botadero de Cieneguilla

Fuente: Elaboración propia (2021)



Figura 24 Recolección de neumáticos en desuso – Llantería en la Av. Trapiche – Comas

Fuente: Elaboración propia (2021)

Se reciclaron 18 neumáticos en desuso para el estudio de esta investigación, estas llantas son de tamaño de aro número 14 y de diferentes marcas como: Limacaucho, Joyroad, y Goodyear.

4.5 Extracción de las fibras de acero recicladas

Una vez obtenidos los neumáticos en desuso, se procede a la extracción de las FAR, como podemos ver en la figura 25, para esto se necesita hacer varios cortes a la capa de la circunferencia interior de los neumáticos con un cuchillo bien filado hasta llegar a descubrir las fibras y así poder extraerlas. Cada llanta nos da aproximadamente 300 gramos de FAR.



Figura 25 Extracción de las fibras de acero recicladas

Fuente: Elaboración propia (2021)

4.6 Corte de las fibras de acero recicladas

Para el corte de las FAR de los neumáticos en desuso se utiliza como herramienta un alicate y se corta a una longitud de 50mm, el cual ha sido escogida por el estudio de los antecedentes. Se puede ver en la figura 26, el corte de las FAR.



Figura 26 Corte de las fibras de acero recicladas

Fuente: Elaboración propia (2021)

4.7 Peso, diámetro y longitud de la fibra de acero recicladas

Una vez obtenido las FAR ya recortadas, se tomará una muestra para determinar su peso, diámetro y longitud de la fibra diámetro y longitud de la fibra de acero reciclada. Para determinar con estas dimensiones se utilizó una balanza en miligramos y un calibrador digital. Como podemos ver en las figuras 27, 28 y 29. Una fibra de acero reciclada de los neumáticos en desuso presenta:

- Peso: 285.5mmg
- Diámetro: 1mm
- Longitud: 50mm



Figura 27 Peso de una fibra de acero reciclada

Fuente: Elaboración propia (2021)

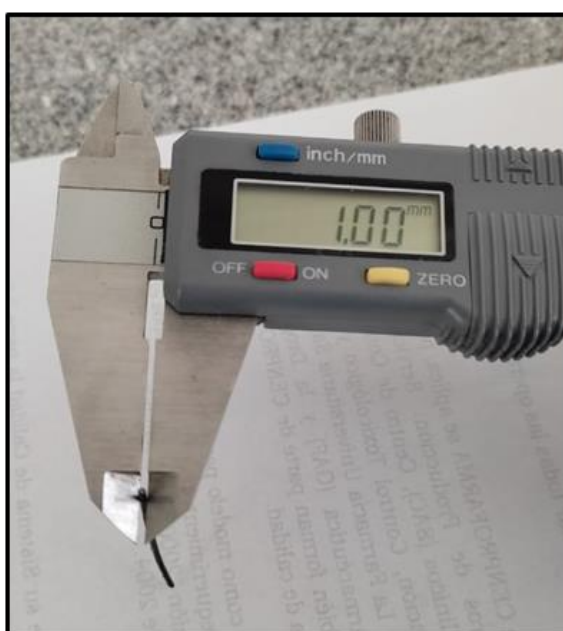


Figura 28 Diámetro de la fibra de acero reciclada

Fuente: Elaboración propia (2021)



Figura 29 Longitud de la fibra de acero reciclada

Fuente: Elaboración propia (2021)

La balanza analítica mostrada en la figura 27, presenta las siguientes características: es de marca A&D, modelo HR-250 AZ, tiene una capacidad de 0.1 miligramos hasta 252 gramos, tiene unidades de medida en gramos, miligramos y onzas.

El calibrador digital Vernier mostrado en la figura 28 y 29, presenta las siguientes características: modelo DC-515, es digital, tiene una capacidad de 0 a 150 milímetros y tiene unidades de medida en pulgadas y milímetros.

4.8 Caracterización de materiales para el diseño de mezcla

Previa elaboración de las briquetas y vigas de concreto se realizó la caracterización de los agregados a emplear, los ensayos característicos fueron los siguientes:

- a) Ensayo de humedad del agregado grueso y agregado fino.
- b) Ensayo granulométrico por tamizado del agregado grueso y agregado fino.
- c) Ensayo determinación de peso específico y absorción del agregado grueso y fino.
- d) Ensayo de peso unitario de agregado grueso y agregado fino.

a) Ensayo de humedad del agregado grueso y agregado fino.

Para la determinación de la humedad de los agregados, primeramente, se saca la muestra del material proveniente para cuartearlo, luego se retira una cantidad que representa a nuestro material que sería el tamaño de muestra de 553.9 gramos para el agregado fino y 3686.6 gramos para el caso de agregado grueso, estos fueron pesados previamente con su humedad natural, luego este material se coloca al horno a $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ durante 24 horas ± 5 horas y luego pesar el material en seco para determinar la humedad existente en el material obteniéndose 543.6 gramos para el agregado fino y 3675.6 gramos para el agregado grueso, el ensayo se observa en la figura 30 y figura 31.

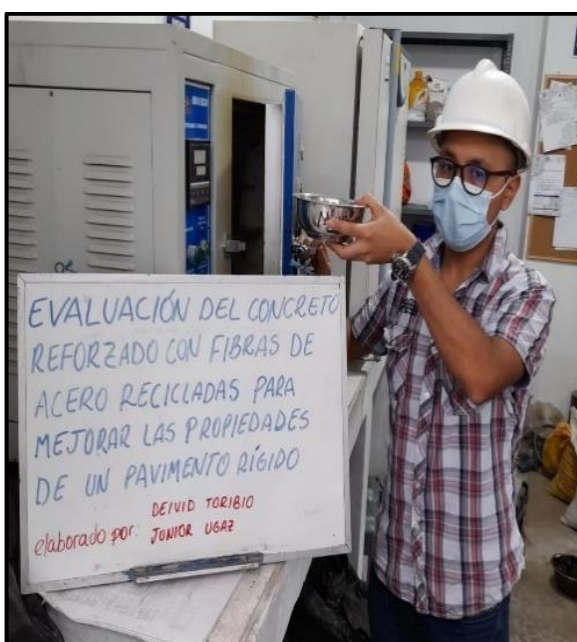


Figura 30 Material llevado al horno a $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$

Fuente: Elaboración propia (2021)



Figura 31 Material luego del secado en horno

Fuente: Elaboración propia (2021)

Teniendo en cuenta los materiales a emplear se procedió a realizar la caracterización, comenzando con la obtención de la humedad de agregados. Se observa que el agregado fino en su estado natural tiene una humedad de 1.9% y el agregado grueso una humedad de 0.3% se puede observar en la tabla 15.

Tabla 15 Contenido de humedad de los agregados

	Agregado fino	Agregado grueso
Contenido de humedad	0.019	0.003

Fuente: Elaboración propia (2021)

b) Ensayo granulométrico por tamizado del agregado grueso y agregado fino.

Consiste en que la muestra que vamos a emplear debe encontrarse totalmente seca, para el caso del agregado fino contiene 422.6 gr y para el agregado grueso 6924.4 gr de material seco, luego se emplea para los tamices de agregado fino de 3/8 ", #4, #8, #16, #30, #50, #100 y fondo; en el

agregado grueso se emplea los tamices 1", ¾", ½", 3/8" y #4. El tamizaje se realizó de manera manual en una posición ligeramente inclinada en una mano. Golpeando el tamiz con la otra mano y con un movimiento hacia arriba y con velocidad de 150 veces por minuto girando el tamiz por cada 25 golpes, Luego de realizar el ensayo de tamizado se procede a pesar el material retenido por cada malla empleada en los agregados, para luego realizar cálculos en gabinete, como podemos observar en la figura 32.



Figura 32 Tamizaje de agregados

Después se procede a realizar el ensayo granulométrico para determinar si los agregados se encuentran dentro del uso establecido por la norma peruana. En la tabla 16 y 17 se muestra los ensayos granulométricos y en la figura 33 y 34 las curvas granulométricas del agregado fino y grueso respectivamente. Para el caso del agregado grueso se tomó en cuenta el uso granulométrico #5, debido que nuestro agregado grueso tiene un tamaño máximo de 1 ½" y un tamaño máximo nominal de 1".

Tabla 16 Ensayo granulométrico por tamizado para agregado fino – Arena gruesa

AGREGADO FINO ASTM C33/C33M - 18 - ARENA GRUESA							
Malla		Peso Retenido (g)	% Parcial Retenido	% Acumulado Retenido	% Acumulado que pasa	ASTM "LIM INF"	ASTM "LIM SUP"
4"	100.00 mm					100	100
3 1/2"	90.00 mm					100	100
3"	75.00 mm					100	100
2 1/2"	63.00 mm					100	100
2"	50.00 mm					100	100
1 1/2"	37.50 mm					100	100
1"	25.00 mm					100	100
3/4"	19.00 mm					100	100
1/2"	12.50 mm				100	100	100
3/8"	9.50 mm	2.4	0.57	0.57	99.43	100	100
# 4	4.75 mm	15.2	3.6	4.16	96.84	95	100
# 8	2.36 mm	65.2	15.43	19.59	80.41	80	100
# 16	1.18 mm	100.7	23.83	43.42	56.58	50	85
# 30	600 µm	107.5	25.44	68.86	31.14	25	60
# 50	300 µm	68.2	16.14	85	15	5	30
# 100	150 µm	45.2	10.7	95.69	4.31	0	10
Fondo	-	18.2	4.31	100	0	-	-
						MF	3.17
						TMN	-

Fuente: Elaboración propia (2021)

Tabla 17 Ensayo granulométrico por tamizado para agregado grueso

AGREGADO GRUESO ASTM C33/C33M - 18							
Malla		Peso Retenido (g)	% Parcial Retenido	% Acumulado Retenido	% Acumulado	ASTM "LIM INF"	ASTM "LIM SUP"
4"	100.00 mm					100	100
3 1/2"	90.00 mm					100	100
3"	75.00 mm					100	100
2 1/2"	63.00 mm					100	100
2"	50.00 mm					100	100
1 1/2"	37.50 mm					100	100
1"	25.00 mm	475.2	6.86	6.86	93.14	90	100
3/4"	19.00 mm	5018.2	72.47	79.33	20.67	20	55
1/2"	12.50 mm	1361.2	19.66	98.99	1.01	0	10
3/8"	9.50 mm	54.6	0.79	99.78	0.22	0	5
# 4	4.75 mm	15.2	0.22	100		0	0
# 8	2.36 mm					0	0
# 16	1.18 mm					0	0
# 30	600 µm					0	0
# 50	300 µm					0	0
# 100	150 µm					0	0
						MF	7
						TMN	1"

Fuente: Elaboración propia (2021)

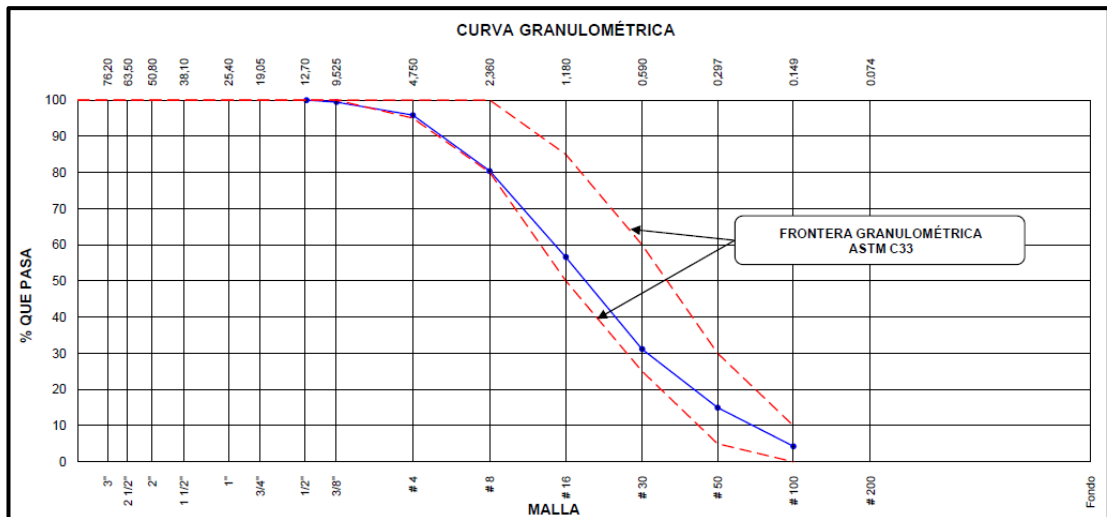


Figura 33 Curva granulométrica del agregado fino dentro del huso #5

Fuente: Elaboración propia (2021)

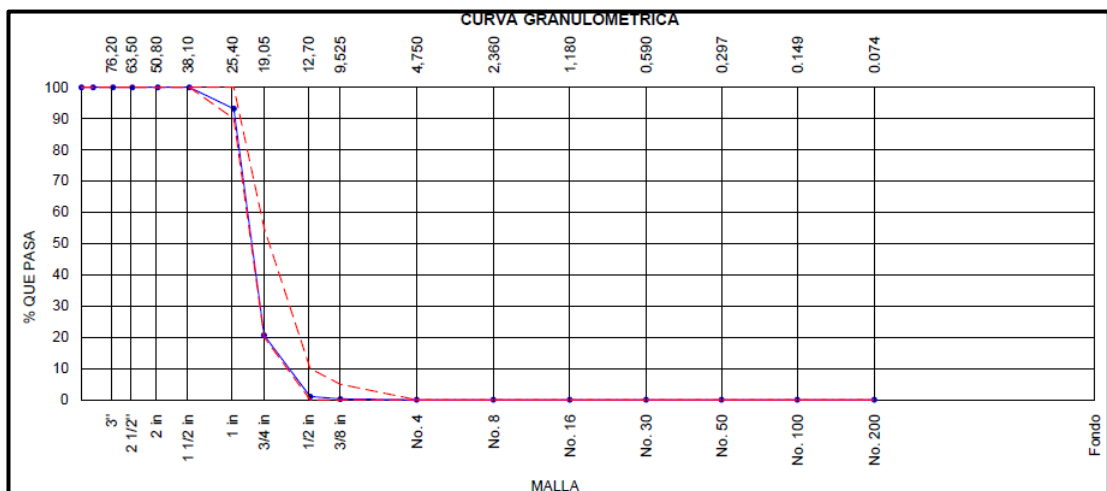


Figura 34 Curva granulométrica del agregado grueso dentro del huso #5

Fuente: Elaboración propia (2021)

c) Ensayo determinación de peso específico y absorción del agregado grueso y fino.

La determinación de la gravedad específica y absorción agregado fino se basa en realizar el ensayo con el material natural de 1kg, luego se debe secar en el horno a una temperatura de 110°C +/- 5°C durante 24 horas y se debe enfriar a temperatura ambiente durante 3 a 4 horas. Después se debe de

sumergir el material en agua durante 24 horas +/- 4 horas para estar expuesta a una corriente de aire caliente y lograr obtener la condición saturada superficialmente seca.



Figura 35 Tarar la balanza y pesar 1kg

Fuente: Elaboración propia (2021)



Figura 36 Agregado fino superficialmente seco

Fuente: Elaboración propia (2021)

Para corroborar si el material tiene una condición superficialmente seca, se realiza el proceso de condición superficial, donde se coloca el material fino parcialmente seco en un cono pequeño de metal, hasta sobrepasar el límite, luego apisonar ligeramente a 25 golpes con la barra compactadora, dejándolo caer 5mm superior por encima de la superficie del agregado fino. Como se puede apreciar en la figura 37.

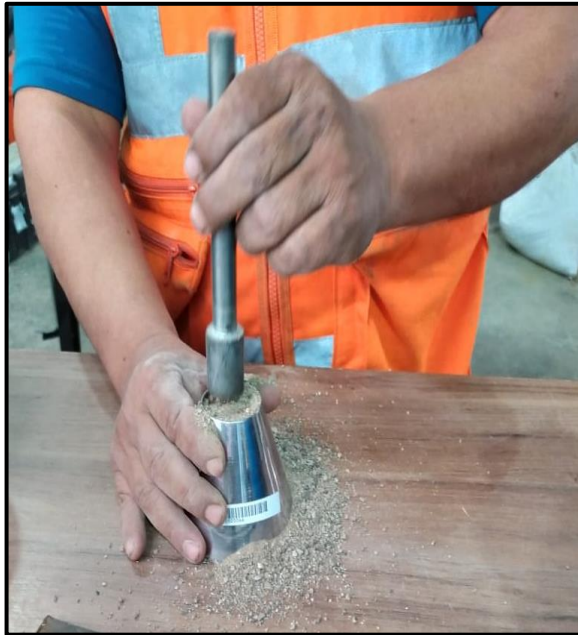


Figura 37 Proceso de condición superficial

Fuente: Elaboración propia (2021)

Continuando con el proceso se retira el molde; y si el agregado fino aun presenta humedad esta conservará la forma cónica del molde, si existe una ligera caída del agregado fino este se considera como agregado fino con superficie seca. Se puede observar la figura 38.

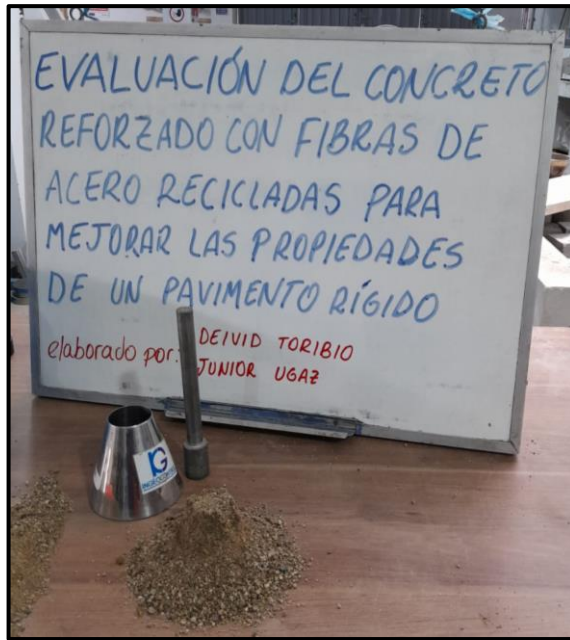


Figura 38 Forma cónica del molde

Fuente: Elaboración propia (2021)

Siguiendo con el ensayo, se realizó con un peso de material de 500 gramos en seco, para luego sumergirla en agua durante 24 horas y así poder determinar lo requerido, luego de tener el material en el picnómetro esta se debe rotar, invertir y agitar para eliminar las burbujas de aire visible aproximadamente estas se eliminan entre 15 a 20 minutos, a continuación se retira el material para ser secado en el horno a una temperatura de $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$, luego enfriarla por 1 hora $\pm 1/2$ hora para ser pesada. En la figura 39 se observa el picnómetro con el agregado fino y el agua.

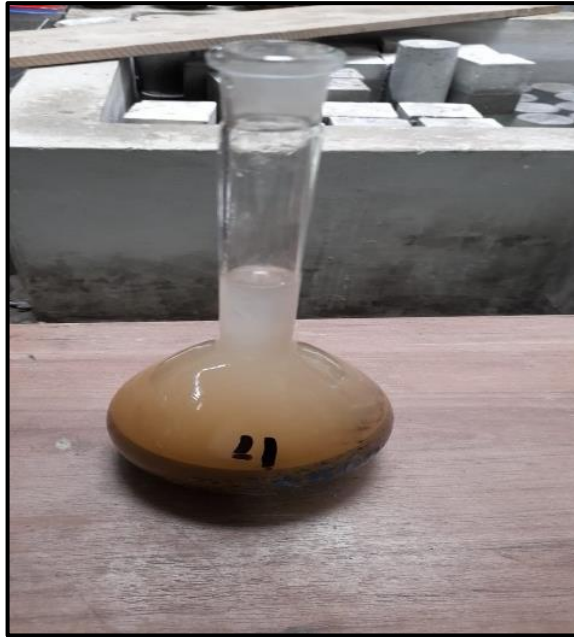


Figura 39 Picnómetro con el agregado fino

Fuente: Elaboración propia (2021)

Con respecto al agregado grueso en primer lugar, el material se debe de encontrar seco, esta es secada en horno a $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$, luego debe ser ventilada a temperatura ambiente durante 1 hora a 3 horas, seguidamente debe ser introducido en agua durante 24 horas ± 4 horas.

Se continúa removiendo la muestra del agua para secar la humedad del agregado grueso mediante un paño eliminando la capa de agua visible en la superficie, para ser pesada y anotada como agregado grueso superficialmente seca, seguidamente se sumerge en agua en una cesta de alambre y se determina el peso en agua a una temperatura de $23^{\circ}\text{C} \pm 1.7^{\circ}\text{C}$. Para remover el aire atrapado en el agregado previo al pesaje, finalmente secar el material a temperatura constante de $100^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ y dejar enfriar por 1 hora a 3 horas que sea cómoda al tacto para pesarla.

La determinación de la gravedad específica y absorción fue con un peso de material superficialmente seca de 2563.2 gramos, para luego sumergirla en agua durante 24 horas, determinar un peso sumergido en agua saturada y secada en horno.

d) Ensayo de peso unitario agregado grueso y agregado fino.

Se realiza una muestra a ensayar entre 125% a 200% de la cantidad requerida para completar la medida y esta debe de estar seca. Para determinar el peso unitario compactado se llena la tercera parte del recipiente y se apisona mediante 25 golpes distribuidos uniformemente sobre la superficie, luego se llena a los dos tercios y nuevamente se apisona a 25 golpes, finalmente se llena hasta rebosar y apisonar a 25 golpes, el material que sobra se elimina con la barra compactadora. Cabe resaltar que se debe de tener el peso del molde y también el peso del material compactado. Finalmente, para determinar el peso unitario suelto se realiza con la ayuda de una cuchara o pala para llenar el molde hasta rebosar y enrasar con la varilla apisonadora, de esta manera se determina el peso del molde con material.

El ensayo se realizó con la ayuda de una cuchara o pala se llena el molde hasta rebasar para luego enrasar con la varilla apisonadora, y luego se obtiene el peso del molde con material. con un molde de 1.627 kg con un volumen de 0.002809 m³ como se puede apreciar en la figura 40 y para el caso del agregado grueso el molde tenía un peso de 3.453 kg y un volumen de 0.007084 m³ se aprecia en figura 41.



Figura 40 Molde de volumen de 0.002809 m³ para agregado fino

Fuente: Elaboración propia (2021)



Figura 41 Molde de volumen de 0.002809 m³ con agregado grueso

Fuente: Elaboración propia (2021)

Verificado que nuestros agregados a emplear cumplen con los usos granulométricos establecidos se procede a calcular el peso unitario compactado y suelto, peso específico y porcentaje de absorción de los

agregados. Se puede apreciar el resumen de los datos de los agregados en la tabla 18.

Tabla 18 Resumen de datos de los ensayos característicos para los agregados

Tipo de agregado	Ensayo realizado	Dato obtenido
Agregado fino	Gravedad específica OD	2.638 gr/cc
	Gravedad específica SSS	2.687 gr/cc
	Gravedad específica aparente	2.773 gr/cc
	Absorción	1.8%
	PU suelto	1624 kg/m ³
	PU compactado	1797 kg/m ³
	Módulo de fineza	3.17
Agregado grueso	Gravedad específica OD	2.812 gr/cc
	Gravedad específica SSS	2.831 gr/cc
	Gravedad específica aparente	2.866 gr/cc
	Absorción	0.7%
	PU suelto	1455 kg/m ³
	PU compactado	1571 kg/m ³
	Módulo de fineza	7.00

Fuente: Elaboración propia (2021)

4.9 Diseño de mezcla de concreto

Para la elaboración del diseño base de la mezcla del concreto se tomó en cuenta el método ACI 211.1, el diseño planteado se realizó con el cemento Sol tipo I, un $f'c$ del concreto de 210 kg/cm² y un asentamiento de 3 1/2" y una cantidad de agua potable 1,000kg/m³. Como se muestra en la figura 42.



Figura 42 Control de asentamiento de la mezcla según diseño

Fuente: Elaboración propia (2021)

Con las condiciones básicas se llegó a obtener la resistencia F'_{cr} (resistencia promedio requerida) mediante la tabla 19, obteniéndose:

$$F'_{cr} = F'_{c} + 84 = 210 + 84 = 294 \text{ kg/cm}^2$$

Tabla 19 Resumen de datos de los ensayos característicos para los agregados

F'_{c}	F'_{cr}
Resistencia menor a 210 kg/cm ²	$F'_{c} + 70$
Resistencia de 210 a 350 kg/cm ²	$F'_{c} + 84$
Resistencia mayor a 350 kg/cm ²	$F'_{c} + 98$

Fuente: Elaboración propia (2021)

Luego se procede a determinar el contenido de aire donde se debe tener en cuenta el TMN del agregado grueso siendo 1" y con esta condición según la tabla 20 se determina que se debe de emplear 1.5% con el contenido de aire.

Tabla 20 Aire atrapado según TMN del agregado grueso

TMN del agregado grueso	Aire atrapado en la mezcla de concreto
3/8"	3.00%
1/2"	2.50%
3/4"	2.00%
1"	1.50%
1 1/2"	1.00%
2"	0.50%
3"	0.30%
4"	0.20%

Fuente: Elaboración propia (2021)

Ya teniendo el TMN del agregado grueso que es 1" y el asentamiento planteado de 3" a 4" se determina el volumen unitario del agua mediante la tabla 21, llegando a obtenerse 210 lt /m³

Tabla 21 Volumen unitario de agua según TMN del agregado grueso

Asentamiento	Agua en lt/m ³ , para los TMN de agregado grueso y consistencia indicada							
	3/8"	1/2"	3/4"	1"	1 1/2"	2"	3"	6"
Concreto sin aire incorporado								
1" a 2"	207	199	190	179	166	154	130	113
3" a 4"	228	216	205	193	181	169	145	124
6" a 7"	243	228	216	202	190	178	160	...
Concreto con aire incorporado								
1" a 2"	181	175	168	160	150	142	122	107
3" a 4"	202	193	184	175	165	157	133	119
6" a 7"	216	205	197	184	174	166	154	...

Fuente: Elaboración propia (2021)

Con la resistencia requerida F'_{cr} de 294 kg/cm² se determina la relación agua cemento a/c mediante los valores de la tabla 22, de esta manera obteniendo una relación de 0.59

Tabla 22 Volumen unitario de agua según TMN del agregado grueso

F'c (kg/cm ²)	Relación agua/cemento en peso	
	Concretos sin aire incorporado	Concretos con aire incorporado
150	0.8	
200	0.7	0.71
250	0.62	0.61
300	0.55	0.53
350	0.48	0.46
400	0.43	0.4
450	0.38	

Fuente: Elaboración propia (2021)

Determinado la relación agua cemento se determina la cantidad de cemento requerido así obteniendo una cantidad de 356kg de cemento y un factor cemento de 8.4 bls x m³

Para el peso de agregado grueso se debe de tomar en cuenta el módulo de fineza del agregado fino (3.17) y TMN del agregado grueso, de esta manera obteniendo por la tabla 23 un valor de 0.634 (b/bo) y así un peso de 996 kg.

Tabla 23 Peso del agregado según módulo de fineza del agregado fino y TMN del agregado

Volumen de ag. Grueso seco y compactado por und. de volumen del concreto, para diversos módulos de fineza del fino (b/bo)				
TMN del agregado grueso	2.4	2.6	2.8	3
3/8"	0.5	0.48	0.46	0.44
1/2"	0.59	0.57	0.55	0.53
3/4"	0.66	0.64	0.62	0.6
1"	0.71	0.69	0.67	0.65
1 1/2"	0.76	0.74	0.72	0.7
2"	0.78	0.76	0.74	0.72
3"	0.81	0.79	0.77	0.75
6"	0.87	0.85	0.83	0.81

Fuente: Elaboración propia

Con lo anteriormente descrito se pudo determinar los volúmenes por metro cubico el cual se aprecia en la tabla 24. Para el caso del agregado fino se determinó debido a que el diseño total debe de sumar 1m³ y fue el complemento.

Tabla 24 Volumen de los materiales para el concreto

Insumo para el concreto	Peso Especifico	Peso del material	Volumen Absoluto
Cemento Sol	3150 kg/m ³	356 kg	0.1130 m ³
Agua	1000 kg/m ³	210 lt	0.2100 m ³
Aire atrapado (1.5%)	---	---	0.0150 m ³
Ag. grueso	2831 kg/m ³	996 kg en seco	0.3518 m ³
Ag. fino	2687 kg/m ³	833 kg en seco	0.3102 m ³
Total			1.0000 m ³

Fuente: Elaboración propia

Con los volúmenes determinados se procede a realizar la corrección por humedad debido a la humedad existente en los agregados y la contribución de agua que genera en dicha mezcla del concreto, esto se aprecia en la tabla 25.

Tabla 25 Peso de agregado corregido por humedad y agua efectiva

Material pétreo	Peso corregido por W% humedad	Aporte de agua a la mezcla	Total de agua aportada
Ag. fino	849 kg	0.849 lt	-3.1 lt
Ag. grueso	999 kg	-3.996 lt	
Agua efectiva para la mezcla = 210 lt - (-3.1 lt) = 213 lt			

Fuente: Elaboración propia

Obtenido las proporciones en peso como se observa en la tabla 26 se determina la proporción de volumen de 1m³.

Tabla 26 Proporcionamiento del diseño

	Cemento	Ag. fino	Ag. grueso	Agua
Seco	356 kg	833 kg	996 kg	210 lt
Húmedo	356 kg	849 kg	999 kg	213 lt
1 : 2.2 : 2.9 : 25.5 lt				

Fuente: Elaboración propia

Además, se determinó a una tanda mínima de 0.165 m³ como se observa en la tabla 27.

Tabla 27 Tanda de prueba mínima

COMPONENTE	PE SO HÚMEDO
Cemento	58.729 kg
Agua	35.17 lt
Agregado grueso	164.835 kg
Agregado fino	140.133 kg
Slump obtenido	3 1/2"

Fuente: Elaboración propia

4.10 Elaboración del concreto

La elaboración del concreto fue realizada en el laboratorio IngeoControl, dicho laboratorio se encuentra en el departamento de Lima, ahí se realizó el procedimiento para elaborar las vigas y probetas de concreto realizado con FAR y sin refuerzo, el ensayo granulométrico de agregados, peso específico de los agregados, el contenido de humedad, el diseño de mezcla del concreto, y el curado de las vigas y probetas de concreto y por último se realizó el ensayo de RF y RC.

Los moldes que se emplearon fueron: moldes de viga prismática, como se puede apreciar en la figura 43 y el molde de probeta cilíndrica, como se puede apreciar en la figura 44. Se añade un poco de petróleo en la parte interior del molde para que el concreto no se adhiera.



Figura 43 Molde de viga prismática

Fuente: Elaboración propia (2021)



Figura 44 Molde de probeta cilíndrica

Fuente: Elaboración propia (2021)

El procedimiento es el siguiente:

- a) Preparación de la mezcla del concreto: Se realiza el peso de los materiales para la elaboración del concreto, agregados finos y gruesos,

cemento y agua. Como podemos ver en las figuras 45, 46, 47 y 48. Luego se mezclan los materiales en un trompo.



Figura 45 Agregado fino

Fuente: Elaboración propia (2021)



Figura 46 Agregado grueso

Fuente: Elaboración propia (2021)



Figura 47 Cemento

Fuente: Elaboración propia (2021)



Figura 48 Agua

Fuente: Elaboración propia (2021)

- b) Elaboración del concreto sin refuerzo: No se incluye ninguna fibra a esta mezcla de concreto. Como podemos ver en la figura 49.



Figura 49 Elaboración del concreto sin refuerzo

Fuente: Elaboración propia (2021)

- c) Concreto reforzado con 1% de FAR: Se añaden las fibras recicladas en porcentaje de 1 y el peso de esta viene a ser de 0.3105kg. Como podemos ver en la figura 50.



Figura 50 Elaboración del concreto con refuerzo del 1% de fibras recicladas

Fuente: Elaboración propia (2021)

- d) Concreto reforzado con 1.5% de FAR: Se añaden las fibras recicladas en porcentaje de 1.5 y el peso de esta viene a ser de 0.4658kg. Como se puede apreciar en la figura 51.



Figura 51 Elaboración del concreto reforzado con 1.5% de fibras recicladas

Fuente: Elaboración propia (2021)

- e) Concreto reforzado con 2% de FAR: Se añaden las fibras recicladas en porcentaje de 2 y el peso de esta viene a ser de 0.621kg. Como podemos ver en la figura 52.



Figura 52 Elaboración del concreto con 2% de fibras de acero recicladas

Fuente: Elaboración propia (2021)

- f) Luego de realizar las vigas y probetas de concreto éstas se ensayarán a 28 días y 14 días de curado respectivamente. Se obtendrá la carga máxima soportada; en el caso de la viga se obtendrá una carga a flexotracción y para las probetas se obtendrá la carga a compresión.

4.11 Espesor de losa de concreto según Método AASHTO 93

Según la norma AASHTO 93 se determinó espesores de pavimentos, empleando datos previos del proyecto de “MEJORAMIENTO DE LA TRANSITABILIDAD VEHICULAR Y PEATONAL DE LA AV. 03 DE OCTUBRE Y JR. MALVINAS DEL DISTRITO DE TALAVERA, PROVINCIA DE ANDAHUAYLAS – APURIMAC” donde se tiene los siguientes datos para poder determinar los espesores del pavimento:

- ESAL a 20 años: 3'246'120 EE
- CBR de la subrasante: 29.2%
- CBR de la base: 40% condición mínima establecida
- Espesor de base: 0.20 metros

- $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$

Para determinar el procedimiento se emplea las hojas de cálculo de Excel. Se determino para el concreto sin refuerzo, con refuerzo de 1%, 1.5% y 2% de FAR.

Procedimiento para:

4.11.1. Espesor de losa sin refuerzo

El paso n°1 se determina los datos de serviciabilidad, nivel de confianza, desviación estándar, módulo de reacción del suelo de subrasante, módulo de elasticidad, coeficiente de drenaje y transferencia de cargas.

a) Serviciabilidad

Para determinar la serviciabilidad se debe de tener en cuenta el ESAL del proyecto para así obtener mediante la tabla mostrada la serviciabilidad inicial y final para luego determinar su variación.

Se cuenta con un ESAL de 3'246'120 el cual en la tabla 28 nos indica que tiene un tráfico tipo 7, un índice inicial (Pi) de 4.3, índice final (Pt) y una variación de 1.80.

Tabla 28 Serviciabilidad

TIPO DE CAMINOS	TRÁFICO	EJES EQUIVALENTES		INDICE DE SERVIABILIDAD		
				INICIAL (Pi)	FINAL (Pt)	VARIACIÓN
Caminos de Bajo Volumen de Tránsito	Tp1	150001	300000	4.1	2	2.1
	Tp2	300001	500000	4.1	2	2.1
	Tp3	500001	750000	4.1	2	2.1
	Tp4	750001	1000000	4.1	2	2.1
Caminos con un tránsito	Tp5	1000001	1500000	4.3	2.5	1.8
	Tp6	1500001	3000000	4.3	2.5	1.8
	Tp7	3000001	5000000	4.3	2.5	1.8
	Tp8	5000001	7500000	4.3	2.5	1.8
	Tp9	7500001	10000000	4.3	2.5	1.8
	Tp10	10000001	12500000	4.3	2.5	1.8
	Tp11	12500001	15000000	4.3	2.5	1.8
	Tp12	15000001	20000000	4.5	3	1.5
	Tp13	20000001	25000000	4.5	3	1.5
	Tp14	25000001	30000000	4.5	3	1.5
Caminos con un tránsito especial	Tp15	>30,000,000		4.5	3	1.5

Fuente: Elaboración propia en base a MTC (2013)

b) Nivel de confianza (R) y desviación estándar (Zr)

Ya teniendo el ESAL y haber determinado el tipo de tráfico se determina el valor de Nivel de Confianza (R) y la desviación estándar (Zr) como se observa a continuación en la tabla 29, se puede apreciar dicha tabla que el nivel de confianza es de 85% y la desviación estándar es de -1.036%.

Tabla 29 Nivel de confianza y desv. Estándar

TIPO DE CAMINOS	TRÁFICO	EJES EQUIVALENTES ACUMULADOS		NIVEL DE CONFIANZA	DESVIACIÓN ESTANDAR NORMAL (Zr)
Caminos de Bajo Volumen de Tránsito	Tp0	100000	150000	0.65	-0.385
	Tp1	150001	300000	0.7	-0.524
	Tp2	300001	500000	0.75	-0.674
	Tp3	500001	750000	0.8	-0.842
	Tp4	750001	1000000	0.8	-0.842
Resto de Caminos	Tp5	1000001	1500000	0.85	-1.036
	Tp6	1500001	3000000	0.85	-1.036
	Tp7	3000001	5000000	0.85	-1.036
	Tp8	5000001	7500000	0.9	-1.282
	Tp9	7500001	10000000	0.9	-1.282
	Tp10	10000001	12500000	0.9	-1.282
	Tp11	12500001	15000000	0.9	-1.282
	Tp12	15000001	20000000	0.9	-1.282
	Tp13	20000001	25000000	0.9	-1.282
	Tp14	25000001	30000000	0.9	-1.282
	Tp15	>30,000,000		0.95	-1.645

Fuente: Elaboración propia en base a MTC (2013)

El método AASHTO recomienda valores de desviación estándar (So) de 0.30 a 0.40 y el MTC (2013) recomienda So = 0.35.

c) Módulo de reacción del suelo o subrasante

Debido a que el ensayo del módulo de reacción es muy costoso se empleara las ecuaciones que se hallan teniendo en cuenta el CBR de diseño, según el AASHTO93:

$$K = 2.55 + 52.5(\text{Log CBR}) \quad \text{para un CBR} \leq 10$$

$$K = 46.0 + 9.08(\text{Log CBR})^{4.34} \quad \text{para un CBR} > 10$$

Ya que el proyecto presenta un CBR de 29.2%, se remplaza en la segunda ecuación antes mencionada, obteniendo un módulo de reacción del suelo (K) de 93.68 MPa.

Si en caso la base o sub base tiene mejor condición de CBR que la subrasante el coeficiente de reacción incrementara y se empleara la siguiente ecuación:

$$Kc = \left[1 + \left(\frac{h}{38} \right)^2 \times \left(\frac{K1}{Ko} \right)^{2/3} \right]^{0.5} \times Ko$$

Donde:

- K1 (kg/cm³) = Coeficiente de reacción de la sub base granular = 116.21 MPa/m
- Kc (kg/cm³) = Coeficiente de reacción combinado = 107.62 MPa/m
- Ko (kg/cm³) = Coeficiente de reacción de la subrasante = 93.68 MPa/m
- h = Espesor de la sub base granular = 0.20m

d) Módulo de elasticidad

En este caso se determinará el Módulo de elasticidad (E) en este caso teniendo en cuenta la RC del concreto:

f'c: 210kg/cm²

El AASHTO'93 recomienda emplear la siguiente ecuación que correlaciona el f'c con el módulo elástico del concreto.

$$E = 57000 \times (f'c)^{0.5} \rightarrow f'c \text{ en PSI}$$

Módulo elasticidad (E): 3111928.14 psi = 21455.99MPa

e) Coeficiente de drenaje (Cd)

Este coeficiente tiene el valor de 1 por la recomendación del MTC.

$$Cd = 1$$

f) Transferencia de cargas (J)

Se debe de saber si la berma será de material granular, asfáltica o de concreto hidráulico. A demás si contará con pasadores o no; con estos datos se interpreta la tabla 30.

El proyecto establecido es de concreto hidráulico y con pasadores, dando así un valor de transferencias de cargas (J) de 2.8.

Tabla 30 Transferencia de cargas

TIPO DE BERMA	Valores de Coeficiente de transmisión de Carga J			
	GRANULAR O ÁSFALTICA		CONCRETO HIDRAULICO	
Valores J	Con pasadores	Sin pasadores	Con pasadores	Sin pasadores
		3.2	3.8-4.4	2.8

Fuente: Elaboración propia en base a MTC (2013)

El paso n°2 se determina el espesor del pavimento se debe iterar con tal fin que la formula descrita por el AASHTO93 y se debe cumplir llegando a la igualdad de condiciones.

$$\begin{aligned}
 \text{Condición 1: } & \log_{10} W_{82} = ZR \cdot S_o + 7.35 \log_{10}(D + 25.4) - 10.39 + \frac{\log_{10} \left(\frac{\Delta PSI}{4.5 - 1.5} \right)}{1 + \frac{1.25 \times 10^{19}}{(D + 25.4)^{8.46}}} \\
 \text{Condición 2: } & + (4.22 - 0.32Pt) \times \log_{10} \left[\frac{Mr C dx (0.09D^{0.75} - 1.132)}{1.51 \times J \left(0.09D^{0.75} - \frac{7.38}{(Ec/K)^{0.25}} \right)} \right]
 \end{aligned}$$

Reemplazando los datos e igualando las condiciones en la hoja de cálculo de Excel se podrá determinar el espesor de la losa.

- W8.2 = 3,246,120EE
- ZR = -1.036
- So = 0.35
- D = 210.53mm
- ΔPSI= 1.80

- $K = 107.62 \text{Mpa/m}$
- $Pt = 2.50$
- $Mr = 3.368 \text{Mpa}$
- $Cd = 1.00$
- $J = 2.80$
- $Ec = 21455.99 \text{Mpa}$

Se obtuvo un espesor de losa de 210.53mm

4.11.2. Espesor de losa con 1%, 1.5% y 2% de refuerzo con fibras de acero recicladas

Para calcular el espesor de la losa con 1%, 1.5% y 2% se repite el mismo procedimiento del subtítulo 4.11.2. Estos procedimientos se encuentran en los anexos n°2, n°3 y n°4.

CAPITULO V. RESULTADOS

Este proyecto presenta como objetivo general evaluar la influencia del uso de concreto reforzado con FAR en las propiedades de un pavimento rígido. Para lograrlo se tuvo que realizar previos ensayos en laboratorio.

5.1. Resultados con respecto a la influencia en el módulo de rotura

El principal objetivo específico es determinar la influencia que da el concreto reforzado con FAR en las propiedades del pavimento rígido, que es el MR.

Esta influencia resulto dar un aumento en el MR, lo que se concluye que influye positivamente, mientras más aplicación de FAR tenga el concreto esta mejorará la propiedad de un pavimento rígido.

Los especímenes realizados en la presente investigación se llegaron a romper a los 28 días para determinar el MR del concreto reforzado con FAR, el cual se puede apreciar en la siguiente tabla 31, donde se incrementa el MR con la aplicación de FAR.

Tabla 31 Resultados del módulo de rotura

% de fibra	Módulo de rotura			Incremento	
	kg/cm2	promedio	promedio en MPa	kg/cm2	%
0	34	34.33	3.37	--	--
0	34				
0	35				
1	35	35.67	3.5	1.33	3.88%
1	36				
1	36				
1.5	39	37.67	3.69	3.33	9.71%
1.5	37				
1.5	37				
2	41	41	4.02	6.67	19.42%
2	42				
2	40				

Fuente: Elaboración propia

También se puede apreciar la figura 53, donde se ve el gráfico del MR en MPa.

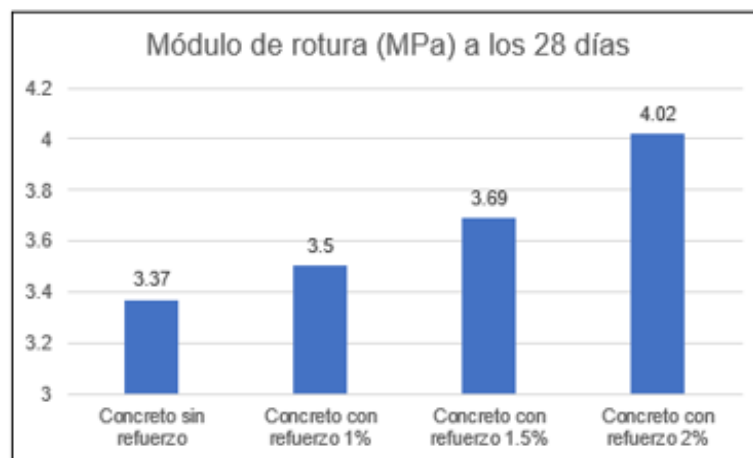


Figura 53 Resultado del módulo de rotura a los 28 días

Fuente: Elaboración propia

5.2. Resultados con respecto a la influencia en la resistencia a compresión

El segundo objetivo específico es determinar la influencia que da el concreto reforzado con FAR en las propiedades del pavimento rígido, que es la RC.

Esta influencia resulto dar un aumento en la RC, lo que se concluye que influye positivamente, mientras más aplicación de FAR tenga el concreto esta mejorará la propiedad de un pavimento rígido.

Los especímenes realizados en la presente investigación se llegaron a romper a los 14 días para determinar la RC del concreto reforzado con FAR, el cual se puede apreciar en la siguiente tabla 32, donde se incrementa el MR con la aplicación de FAR.

Tabla 32 Resultados de la resistencia a la compresión

% de fibra	Resistencia a la compresión		Incremento	
	kg/cm ²	promedio	kg/cm ²	%
0	168	172.33	--	--
0	176			
0	173			
1	180	181	8.67	5.03%
1	181			
1	182			
1.5	181	182.67	10.33	6.00%
1.5	181			
1.5	186			
2	184	187	14.67	8.51%
2	187			
2	190			

Fuente: Elaboración propia

También se puede apreciar la figura 54, donde se ve el gráfico la RC.

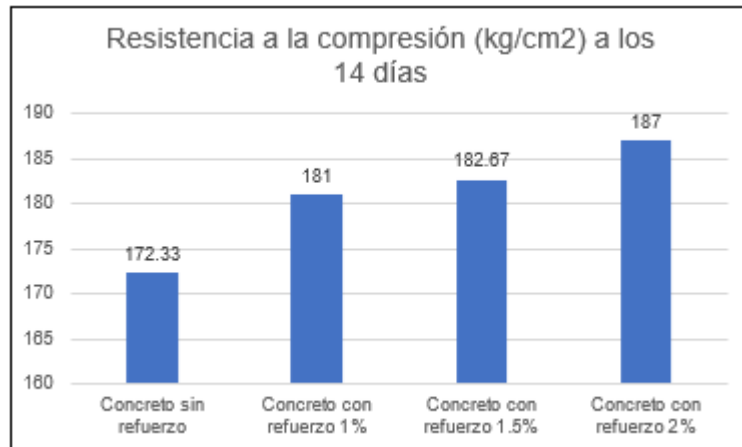


Figura 54 Resultados de la resistencia a la compresión a los 28 días

Fuente: Elaboración propia

5.3. Resultados con respecto al espesor de losa

El último objetivo específico es determinar la influencia que da el concreto reforzado con FAR en propiedades del pavimento rígido, que viene a ser el espesor de la losa.

Esta influencia resulto dar una reducción del espesor de losa, lo que se concluye que influye positivamente, mientras más aplicación de FAR tenga el concreto esta mejorará la propiedad de un pavimento rígido.

Con los datos del proyecto se procedió a determinar el espesor con el concreto base y espesor con concreto adicionado de fibra metálica provenientes de llantas recicladas como se observa en la tabla 33. Se observo que al incremento del módulo de rotura en comparación con el concreto reforzado con 2% de FAR, el espesor de losa redujo en un 11.3% respecto al espesor de losa con concreto tradicional.

Tabla 33 Resultados del espesor de la losa

% de fibra	Propiedades del concreto		Espesor de losa de concreto			
	f'c (kg/cm ²)	Módulo de rotura (kg/cm ²)	mm	cm	reducción en cm	% reducido
0	210	34.33	210.53	21.1	--	--
1	210	35.67	205.38	20.5	0.6	2.40%
1.5	210	37.67	198.03	19.8	1.3	5.90%
2	210	41	186.64	18.7	2.4	11.30%

Fuente: Elaboración propia

También se puede apreciar la figura 55, donde se ve el gráfico del espesor de losa.

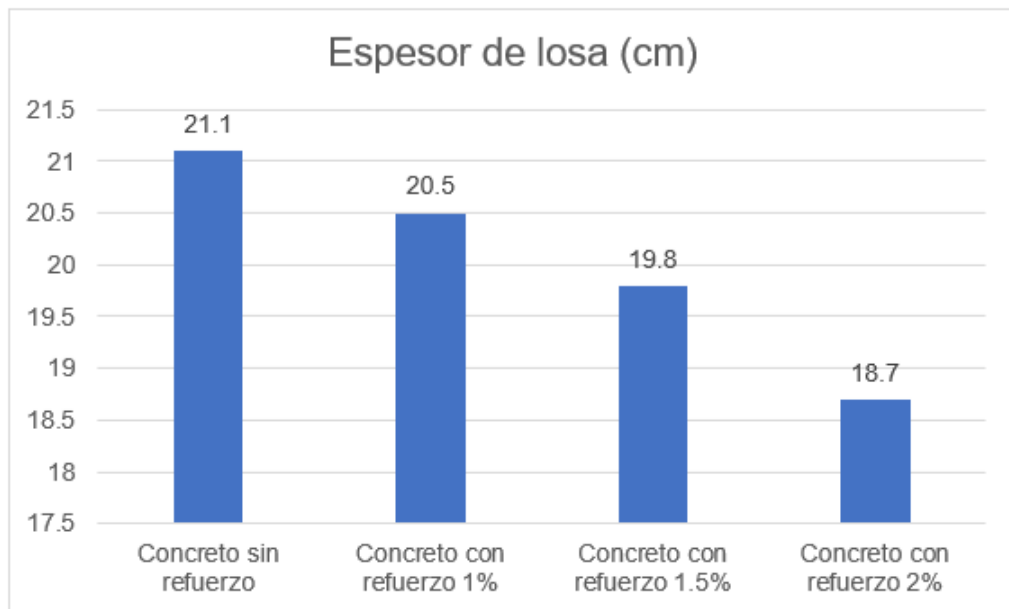


Figura 55 Resultados del espesor de losa

Fuente: Elaboración propia

CAPITULO VI. DISCUSIÓN

6.1 Contrastación de hipótesis

Se realiza la contrastación de las hipótesis específicas el cual se muestra a continuación:

a) Contrastación con la hipótesis n°1

La presente hipótesis es válida, se puede apreciar los resultados del MR hallados en el concreto reforzado con FAR tienen influencia en las propiedades del pavimento rígido, se ve un leve incremento en estos resultados, en el concreto reforzado con FAR de 2% tuvo un incremento en el MR de 19.42%. Como se puede apreciar en la tabla número 34.

Tabla 34 Contrastación con la hipótesis n°1

% de fibra	Hipótesis n°1: El módulo de rotura se incrementa en 10% en el concreto reforzado con fibras de acero recicladas de un pavimento rígido	Validación de hipótesis específica n°1
0	--	Cumple con la hipótesis específica con algunas restricciones
1	INCREMENTA +3.88%	
1.5	INCREMENTA +9.71%	
2	INCREMENTA +19.42%	

Fuente: Elaboración propia

b) Contrastación con la hipótesis n°2

La presente hipótesis es válida, se puede apreciar los resultados de la RC hallados en el concreto reforzado con FAR tienen influencia en las propiedades del pavimento rígido, se ve un leve incremento en estos resultados, en el concreto reforzado con FAR de 2% tuvo un incremento en la RC de 8.51%. Como se puede apreciar en la tabla número 35.

Tabla 35 Contrastación de la hipótesis n°2

% de fibra	Hipótesis n°2: La resistencia a la compresión se incrementa en 5% en el concreto reforzado con fibras de acero recicladas de un pavimento rígido	Validación de hipótesis específica n°2
0	--	Cumple con la hipótesis específica
1	INCREMENTA +5.03%	
1.5	INCREMENTA +6.00%	
2	INCREMENTA +8.51%	

Fuente: Elaboración propia

c) Contrastación con la hipótesis n°3

La presente hipótesis es inválida, se puede apreciar los resultados del espesor de losa hallados en el concreto reforzado con FAR tienen influencia en las propiedades del pavimento rígido, se ve un leve incremento en estos resultados, en el concreto reforzado con FAR de 2% tuvo una reducción en el espesor de losa en 2.40cm. Como se puede apreciar en la tabla número 36.

Tabla 36 Contrastación de la hipótesis n°3

% de fibra	Hipótesis n°3: El espesor del pavimento rígido se reducirá en 5cm con la aplicación de fibras de acero recicladas en comparación de un concreto sin fibras de acero	Validación de hipótesis específica n°3
0	--	No cumple con la hipótesis específica
1	REDUCE -0.60cm	
1.5	REDUCE -1.30cm	
2	REDUCE -2.40cm	

Fuente: Elaboración propia

6.2 Contrastación con los resultados de los antecedentes

En esta sección se comparan los resultados de los antecedentes descritos en el capítulo II.

a) Contrastación con el resultado del antecedente nacional

Según Condori y Palomares (2018) en Análisis del comportamiento mecánico del concreto con adición de virutas de acero recicladas para pavimentos rígidos en Lima, en esta investigación los autores utilizan virutas de acero recicladas como refuerzo para el concreto en tamaños de 1/2" y 1" con dosificaciones en porcentajes de 3 y 5% del volumen del concreto; realizan ensayos de RC, compresión indirecta y RF con diferentes edades de curado del concreto siendo así en 7, 14 y 28 días. Utilizan una RC de 280 kg/cm². En la figura 56 se observa los resultados de RC.

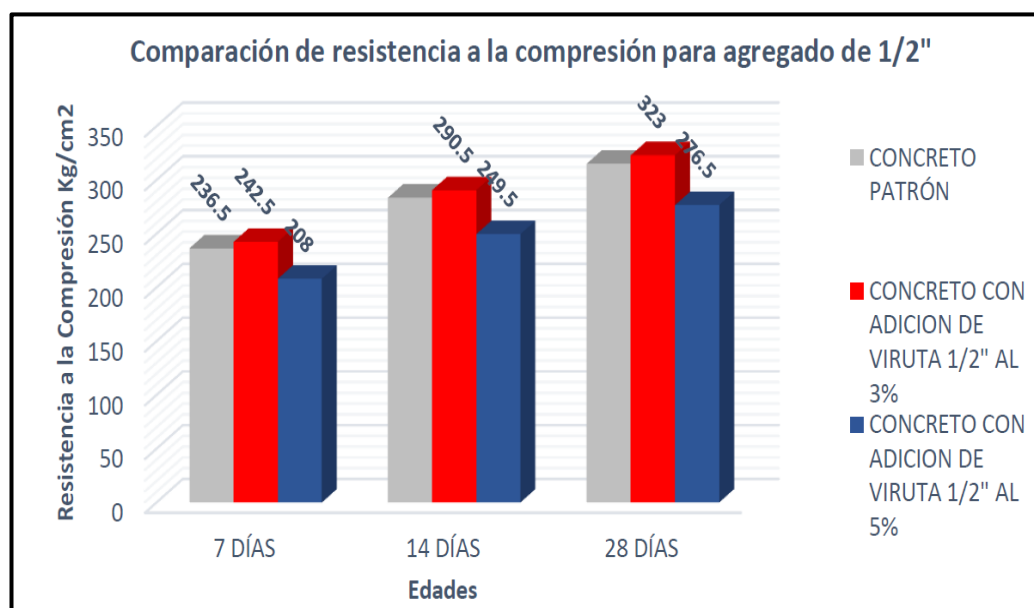


Figura 56 Resultado de antecedente nacional

Fuente: Condori y Palomares (2018)

De la figura 56, se puede observar que hay un incremento en la RC del concreto reforzado con virutas en comparación con un concreto patrón sin refuerzo. Se observa en la mencionada figura que el concreto patrón llega a una RC de 236.5 kg/cm², mientras que el concreto reforzado con virutas de acero de 1/2" alcanza una RC de 323 kg/cm².

b) Contrastación con el resultado del antecedente internacional

Según Ahmadi et al. (2017) en Propiedades mecánicas del hormigón con fibras y áridos reciclados, los autores en esta investigación incluyen FAR provenientes de llantas inservibles en dosificaciones de 0.5 y 1% en el concreto; también sustituyen al agregado grueso natural por un agregado reciclado proveniente de la construcción y demolición en dosificaciones del 0, 50 y 100% para posteriormente analizar el efecto que tienen las FAR provenientes de llantas inservibles en la reducción del espesor del pavimento rígido. En la figura 57 se puede apreciar sus resultados alcanzados.

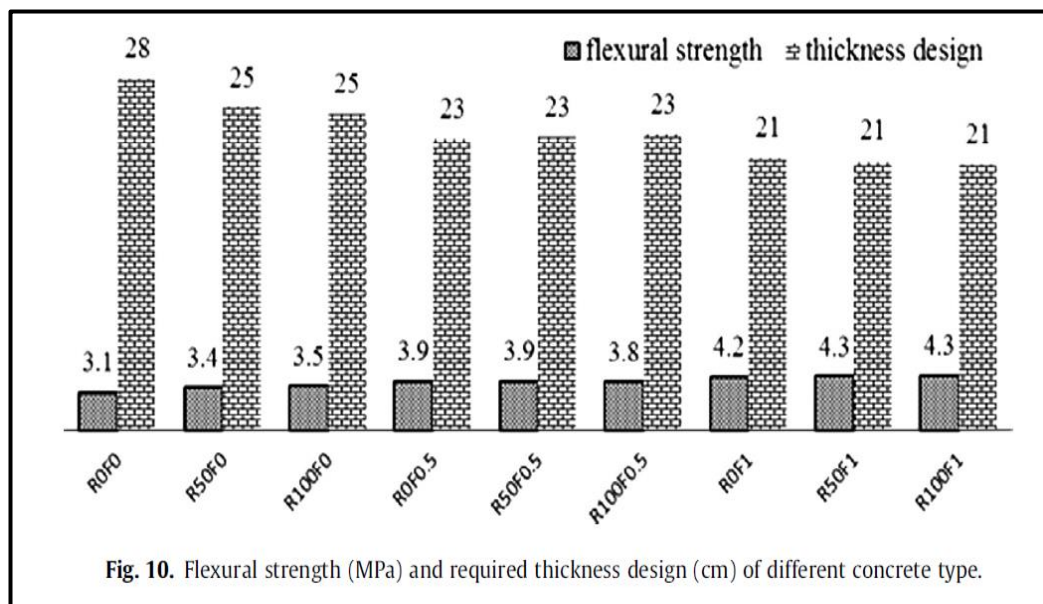


Figura 57 Resultado de antecedente internacional

Fuente: Ahmadi, et al. (2017)

De la figura 57, se puede observar que hay un incremento en el MR del concreto y una reducción en el espesor de losa del pavimento; vemos como el concreto sin refuerzo llegó a alcanzar una RF en 3.1 MPa y 4.3 MPa con la adición de las FAR en dosificación del 1%. El espesor de la losa del concreto sin FAR es de 28cm y el espesor de la losa con un concreto reforzado con FAR de dosificación de 1% es de 21cm el cual hay una reducción de espesor de 7cm.

CONCLUSIONES

1. Se concluye que la adición de FAR mejora las propiedades del concreto como módulo de rotura y esfuerzo a la compresión, además que reduce el espesor de losa de concreto.
2. La adición del 2% de FAR al concreto fue la óptima.
3. El módulo de rotura se incrementó en 5.88%, 9.71% y 19.42% con la aplicación de las FAR en dosificaciones de 1%, 1.5% y 2% en comparación del concreto sin refuerzo.
4. La resistencia a la compresión se incrementó en 5.03%, 6.00% y 8.51% con la aplicación de las FAR en dosificaciones de 1%, 1.5% y 2% en comparación del concreto sin refuerzo.
5. El espesor de losa se reduce en 0.60cm, 1.30cm y 2.40cm con la aplicación de las FAR en dosificaciones de 1%, 1.5% y 2% en comparación del concreto sin refuerzo.
6. El ensayo de consistencia tuvo un valor de 3 ½" del concreto sin la aplicación de las FAR.
7. Se concluye que a los 14 días la resistencia a la compresión del concreto reforzado con fibras de acero recicladas llegó a alcanzar el 89% de la resistencia planteada que fue de 210kg/cm².

RECOMENDACIONES

1. Realizar una investigación analizando el tema económico de esta investigación para que sea muy favorable para las empresas constructoras.
2. Analizar esta investigación en distintas condiciones climáticas debido a que estas condiciones llevan a emplear otro tipo de material granular y otro tipo de cemento.
3. Analizar más estudios con la fibra de acero reciclada, pero en diferentes porcentajes de dosificaciones.
4. Realizar más ensayos de resistencia a la compresión del concreto reforzado con fibras de acero recicladas a 21 y 28 días de curado.
5. Analizar más estudios con la fibra de acero reciclada, pero de diferentes diámetros.
6. Realizar ensayos de consistencia del concreto con la aplicación de las FAR.
7. Iniciar los ensayos con un técnico especialista para obtener un buen procedimiento en la realización de estas.

FUENTES DE INFORMACIÓN

- Abanto, T. (2017). *Tecnología del concreto*. (Tercera edición). Lima: San Marcos.
- Ahmadi, M., Farzin, S., Hassani, A. & Motamedi, M. (2017). Mechanical properties of the concrete containing recycled fibers and aggregates. *Construction and Building Materials*. 144, 392-398. Recuperado de: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0950061817306153>
- Aiello, M., Leuzzi, F., Centonze, G. & Maffezzoli, A. (2009). Use of steel fibres recovered from waste tyres as reinforcement in concrete: Pull-out behaviour. *Waste Management*. 29 (6), 1960-1970. Recuperado de: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0956053X08004169>
- American Association of State Highway and Transportation Officials, (AASHTO) National Cooperative Highway Research Program. (1993). Guía para el diseño de estructuras de pavimentos. Recuperado de: https://books.google.com.pe/books?hl=es&lr=&id=1HRB12tBQNMCI=&oi=fnd&pg=PR7&dq=aashto+1993+guide+for+design+of+pavement+structures&ots=RttnlAdRxe&sig=5wzwhNFdsZ6rELv2Se-yLWOm1_U#v=onepage&q=aashto%201993%20guide%20for%20design%20of%20pavement%20structures&f=false
- Arcelor Mittal (2015). *Steel fibres flooring applications*. Recuperado de: <https://barsandrods.arcelormittal.com/repository2/fanny/Flooring-EN.pdf>
- Asociación de Productores de Cemento. (2021). Reporte estadístico mensual de abril 2021. Lima: Asociación de productores de cemento. Recuperado de: http://www.asocem.org.pe/archivo/files/Reporte-Estad%C3%ADstico-Mensual/2021-04/2021_04_Reporte-Estadistico-Mensual.pdf

- Baricevic, A., Bjegovic, D. & Skazlic, M. (2017). Hybrid fiber-reinforced concrete with unsorted recycled – tire steel fibers. *Journal of Materials in Civil Engineering*. 29(6), 1-10. Recuperado de: https://www.researchgate.net/publication/314113151_Hybrid_Fiber-Reinforced_Concrete_with_Unsorted_Recycled-Tire_Steel_Fibers
- Cárdenas, J. (2014). Fibras de acero para reforzar concreto. *Construcción Metálica*. Recuperado de: https://issuu.com/legissa/docs/metallca18_baja
- Condori, E. y Palomares, V. (2018). *Análisis del comportamiento mecánico del concreto con adición de virutas de acero recicladas para pavimentos rígidos en Lima, 2018*. (Tesis de pregrado, Universidad César Vallejo). Recuperado de: <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/34375>
- Díaz, J. (2018). *Diseño de concreto f'c 140,175 y 210 kg/cm², adicionando fibra de acero, utilizando agregado de la cantera Naranjillo, distrito de Nueva Cajamarca, provincia de Rioja, región San Martín*. (Tesis de pregrado, Universidad Nacional de San Martín). Recuperado de: <http://repositorio.unsm.edu.pe/handle/11458/3454>
- Domski, J., Katzer J., Zakrzewski, M. & Ponikiewski, T. (2017). Comparison of the mechanical characteristics of engineered and waste steel fiber used as reinforcement for concrete. *Cleaner Production*, 158, 18-28. Recuperado de: <https://daneshyari.com/article/preview/5479577.pdf>
- Flores Medina N., Flores Medina D., Olivares F. & Navacerrada M. (2017). Mechanical and termal properties of concrete incorporating rubber and fibers from tyre recycling. *Construction and Building Materials*, 144, 563-573. Recuperado de: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S095006181730586X?via%3Dihub>
- García, A. (2013). *Introducción a Pavimentos*. Recuperado de: https://es.slideshare.net/roy_foker01/pav-diapositivas

- García, J. y Reyes, V. (2016). *Propuesta de un sistema de logística inversa de llantas inservibles para reducir el impacto ambiental y gasto por consumo de combustible en el servicio de gestión ambiental de Trujillo*. (Tesis de pregrado, Universidad privada del Norte). Recuperado de: <https://repositorio.upn.edu.pe/handle/11537/11106>
- Hernández L., Gómez P., Contretas C., Bravo L., y Padilla S. (2018). *Resistencia a la compresión del concreto*. Recuperado de: https://www.researchgate.net/publication/328199242_RESISTENCIA_A_LA_COMPRESION_DEL_CONCRETO
- Hernández S., Fernández C., y Baptista L. (2014). *Metodología de la investigación*. Recuperado de: <http://observatorio.epacartagena.gov.co/wp-content/uploads/2017/08/metodologia-de-la-investigacion-sexta-edicion.compressed.pdf>
- Mastali A. & Dalvand A. (2017). Fresh and hardened properties of self-compacting concrete reinforced with hybrid recycled steel-polypropylene fiber. Recuperado de: <https://lu.ac.ir/usersfiles/963063.1803476.3266551.78618.pdf>
- Martos A. (2017). *Estructura de un neumático*. (Figura). Recuperado de: <http://www.blogmecanicos.com/2017/12/la-resistencia-la-rodadura-y-la-5.html>
- McCormac, J. y Brown, R. (2018). Diseño de concreto reforzado. Recuperado de: https://www.academia.edu/43514207/Dise%C3%B1o_de_Concreto_reforzado_McCormac_Ed_10
- Medina A. y De La Cruz M. (2015). *Evaluación superficial del pavimento flexible del Jr. José Gálvez del distrito de Lince aplicando el método del PCI*. (Tesis de pregrado, Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas). Recuperado de:

<https://repositorioacademico.upc.edu.pe/bitstream/handle/10757/581505/M?sequence=1>

Meza, E. (3 de diciembre de 2018). Crean artículos sustentables con llantas usadas. *El economista*. Recuperado de: <https://www.economista.com.mx/empresas/Crean-articulos-sustentables-con-llantas-usadas-20181203-0056.html>

Ministerio de Transporte y Comunicaciones. (2013). Manual de Carreteras - Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos. Lima: Ministerio de Transporte y Comunicaciones, 261-271. Recuperado de: http://transparencia.mtc.gob.pe/idm_docs/P_recientes/4515.pdf

Montalvo M. (2015). *Pavimentos rígidos reforzados con fibras de acero versus pavimentos tradicionales*. (Tesis de pregrado, Pontificia Universidad Católica del Perú). Recuperado de: <http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/20.500.12404/6117>

National Geographic. (2019). *Los neumáticos son una gran fuente de contaminación por plástico*. Recuperado de: <https://www.nationalgeographic.es/medio-ambiente/2019/09/neumaticos-gran-fuente-contaminacion-plastico>

Onuaguluchi, O., Borges, P., Bhutta, A. & Banthia, K. (2017). Performance of scap tire steel fibers in OPC and alkali-activated mortars. *Materials and Structures*. Recuperado de: https://www.researchgate.net/publication/315526421_Performance_of_scrap_tire_steel_fibers_in OPC_and_alkali-activated_mortars

Polo, J. y Risco, J. (2018). *Influencia de las fibras de acero en las propiedades físicas y mecánicas del concreto, Trujillo*. (Tesis de pregrado, Universidad Privado de Trujillo). Recuperado de: <https://es.scribd.com/document/427490652/TESIS>

Robles, R. & Sánchez, J. (2015). *Evaluación de pavimentos rígidos mediante la determinación de correlaciones entre el módulo de rotura a la flexión y la resistencia a la compresión para el Centro Poblado San Cristóbal*

de Chupán – Huaraz. (Tesis de pregrado, Universidad Ricardo Palma).

Recuperado

de:

<https://repositorio.urp.edu.pe/handle/URP/2177#:~:text=La%20resistencia%20a%20flexi%C3%B3n%20y,ciclo%20de%20fraguado%20y%20Ocurado>

Rondón, H. y Reyes, F. (2015) *Pavimentos: materiales, construcción y diseño*.

Recuperado de: [PAVIMENTOS: Materiales, Construcción y Diseño - Rondón Quintana Hugo Alexander-Reyes Lizcano Fredy Alberto - 1ra Edición - IngCivilFree.Com](#)

Sika, (2018). Catalogo productos sika. (figura). Recuperado de:

[https://per.sika.com/dms/getdocument.get/690d7474-5886-34b0-b798-4ce82c0c636c/Cat%C3%A1logo%20de%20productos%20Distribuci%C3%B3n%20\(A-5\)_v2.pdf](https://per.sika.com/dms/getdocument.get/690d7474-5886-34b0-b798-4ce82c0c636c/Cat%C3%A1logo%20de%20productos%20Distribuci%C3%B3n%20(A-5)_v2.pdf)

Sótil, A. y Zegarra, J. (2015). *Análisis comparativo del comportamiento del*

concreto sin refuerzo, concreto reforzado con fibras de acero wirand FF3 y concreto reforzado con fibras de acero wirand FF4 aplicado a

losas industriales de pavimento rígido. (Tesis de pregrado, Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas). Recuperado de:

<https://repositorioacademico.upc.edu.pe/handle/10757/581616>

Vignart, J. (2010). *Problemática del neumático fuera de uso, reciclado y posterior aplicación industrial y comercial*. (Tesis de pregrado, Instituto

Tecnológico de Buenos Aires). Recuperado de:

<https://ri.itba.edu.ar/handle/123456789/519?show=full>