

CAPITULO I
DISEÑO TEORICO DE LA INVESTIGACION

1. DISEÑO TEORICO DE LA INVESTIGACION

1.1.PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACION

El fin de esta investigación es presentar el hormigón reforzado con fibras como alternativa de solución para mejorar el comportamiento del hormigón en pavimento rígido. Las principales mejoras que proporciona la adición de fibras al hormigón son la disminución de fisuras en la contracción plástica como endurecida y la resistencia a tracción aumenta de manera considerable.

La necesidad de ahorrar costos, aumentar la calidad y optimizar los materiales hace que se realicen investigaciones sobre distintos aditivos que se le añaden al hormigón como acelerantes de fragua, incorporadores de aire, reductores de agua, superplastificantes, impermeabilizantes, entre otros; como también el tipo de refuerzo que complementa al hormigón como varillas de acero, mallas electrosoldadas, fibras de acero, entre otros.

El uso del concreto fibroreforzado se viene dando cada vez más en nuestro país, se utiliza desde los pavimentos rígidos hasta el reforzamiento de estabilidad en túneles, haciéndolo uno de los materiales con mayor demanda en los diferentes campos de la ingeniería.

Este documento se enfocará en realizar comparación entre pavimentos de hormigón simple , pavimentos de concreto reforzado con fibras de polipropileno y el pavimento de concreto reforzado con fibras de acero, comparando la metodología de diseño, los esfuerzos teóricos, su procedimiento constructivo y los precios unitarios en cada una de las situaciones.

1.2. INTRODUCCION

El uso de pavimento rígido en la actualidad sigue siendo menor que el pavimento flexible. En la actualidad se busca nuevas técnicas para rebajar o disminuir el costo y para esto se están incorporando materiales en este caso en particular con la inclusión de fibras en el cuerpo del hormigón, que permitan disminuir el espesor de la carpeta de rodadura y así disminuir el costo del pavimento rígido.

Existen ejemplos bien documentados de que la idea de refuerzos con fibras tiene antecedentes de más de 2000 años, como las antiguas edificaciones se realizaban con barro y paja como agente de refuerzo.

Específicamente los hormigones reforzados con fibras comenzaron a realizarse cerca del año 1950, y desde entonces se han probado distintos materiales de refuerzo.

Al agregar fibras de refuerzo en la mezcla de hormigón se consigue un compuesto capaz de trabajar a compresión y a tracción. Esto se debe a que las fibras son capaces de ayudar a soportar entre otras las cargas de tracción.

La mejora de las propiedades del hormigón reforzado con fibras depende de varios factores a considerar, los más importantes son el material de la fibra, el porcentaje de fibras añadidas en la relación con la masa del hormigón, la forma, la longitud, el diámetro equivalente de la fibra y su distribución aleatoria dentro de la mezcla.

Para lograr estas metas de disminución de costo y espesor, se hace necesario incursionar en la utilización de hormigones reforzados con fibras, es una técnica reciente en el departamento de Tarija, por lo que no está siendo aprovechada; debido a que no existen documentos que brinden información sobre los beneficios de la implementación de fibras.

Por lo que se vuelve importante realizar un estudio a mayor detalle, acerca de los parámetros de medida de las propiedades físicas, mecánicas y económicas de acuerdo

al desempeño de esta clase de hormigón reforzado con fibras de acero y fibras sintéticas.

El uso de fibras en la actualidad como componente de refuerzo en carreteras, está más siendo utilizado en la construcción de túneles, para los hormigones de recubrimiento de las paredes del túnel, y no así en la carpeta de pavimento.

Entonces con el trabajo de investigación se determinara la incidencia de las fibras en el hormigón y en el diseño de espesores de la capa de rodadura en Pavimentos Rígidos como las ventajas estructurales (resistencia) y su factibilidad económica, sobre su implementación.

1.3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.3.1. SITUACIÓN PROBLÉMICA

El hormigón posee una serie de características que lo mantiene como el material estructural más utilizado en el mundo y en el ámbito vial de pavimentos rígidos. Sin embargo, el hormigón tiene una serie de limitaciones, como su comportamiento frágil y la baja capacidad de deformación antes de la rotura. Como consecuencia de su fragilidad, su resistencia a la tracción es muy baja cuando es comparada con su resistencia a la compresión.

En el campo vial de pavimentos rígidos, un punto en contra que tiene es el alto costo que conlleva realizar pavimentos rígidos de hormigón con acero de refuerzo.

En la actualidad se buscan nuevas técnicas para mejorar las características que presenta el hormigón y que se manifiesten en reducción de costos, una alternativa es la introducción de fibras en su masa.

1.3.2. PROBLEMA

¿Cuáles son las ventajas técnicas y económicas que ofrecen las fibras de acero y fibras de polipropileno en una mezcla de hormigón para aplicarlas en pavimento rígido?

1.3.3. JUSTIFICACION

Es evidente la mayor aplicación de pavimento flexible que brinda como sus principales ventajas; menor tiempo constructivo y menor costo, sin embargo el pavimento flexible a diferencia del pavimento rígido requiere un mantenimiento en un lapso de tiempo menor, lo que implica un mayor costo a largo plazo. El pavimento rígido es más durable por lo que se buscan nuevas técnicas para emplearlo reduciendo su costo.

En la ciudad de Tarija el pavimento rígido que se encuentra en servicio es el convencional, no tiene ningún tipo de fibra para aumentar sus características estructurales por lo que se hace necesario analizar y comparar hormigón convencional con hormigón reforzado con fibras.

Lo que se pretende realizar con este trabajo es el determinar una probable alternativa de utilización del pavimento rígido reforzado con fibras, por esta razón se encuentra la cuestionante de ¿qué ventajas ofrecen estos material? (fibras de acero y polipropileno) y si con la utilización de estos material existe una reducción de costo.

1.3.4. OBJETIVOS

1.3.4.1. OBJETIVO GENERAL

Analizar y comparar las características técnicas y económicas del hormigón convencional, hormigón con fibra de acero y hormigón con fibra sintética que permita establecer la mejor alternativa de reducción de espesores en el diseño de pavimentos rígidos.

1.3.4.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Determinar las propiedades mecánicas y físicas de un hormigón para pavimento reforzado con acero mediante pruebas de laboratorio, cumpliendo requisitos para pavimento rígido.
- Comparar el comportamiento de una mezcla de hormigón reforzada con fibras de acero y una mezcla reforzada con fibras de polipropileno, respecto a la

mezcla de hormigón convencional utilizada para pavimento con acero de refuerzo.

- Diseñar y comparar los espesores de capa de rodadura, de cada tipo de hormigón con sus características encontradas, sin variar la dosificación.
- Realizar un análisis económico comparativo de los tres tipos de hormigón.
- Realizar un análisis técnico comparativo de los tres tipos de hormigón.

1.3.5. HIPOTESIS

La incorporación de fibras en el hormigón permite mejorar las propiedades mecánicas y físicas, consiguiendo hormigones trabajables, resistentes y de menor costo, para su aplicación en el diseño de espesor de la carpeta de rodadura en pavimentos rígidos.

1.3.6 VARIABLES

1.3.6.1 VARIABLES DEPENDIENTES

- Espesor de Carpeta de Rodadura

1.3.6.2 VARIABLE INDEPENDIENTE

- Fibras en el hormigón
- Resistencia del hormigón
- Trabajabilidad

1.3.6.3 OPERACIONALIZACIÓN DE LA VARIABLE

Tabla 1.1 Operación de la Variable

	Variable	Objetiva	Cuantificable	Medible
DEPENDIENTE	Espesor de Carpeta de Rodadura	Magnitud del espesor	Altura del espesor	Cm Plg
INDEPENDIENTE	Fibras en el hormigón	Mejorar características del hormigón	Cantidad a utilizar	Kg/m ³
	Trabajabilidad	Facilidad de manipuleo.	Cuantía de Asentamiento	Cm
	Resistencia del hormigón	A flexotracción	Ensayos de laboratorio	Mpa

Fuente: Elaboración Propia

1.3.6.4 DEFINICIÓN CONCEPTUAL DE LA VARIABLE

El espesor de la carpeta de rodadura, se constituye en la variable dependiente, está sujeta a variaciones por cualquier cambio o alteración que se realice en las independientes, es decir, por las modificaciones que puede ocurrir en la cantidad de fibra utilizada, trabajabilidad y resistencia del hormigón.

1.3.7. ALCANCE DE LA INVESTIGACIÓN

El presente proyecto se constituye un importante aporte para que se tome en cuenta en los actuales y potenciales proyectos de carreteras y vías de comunicación que fundamentalmente están a cargo de las entidades públicas del Estado Plurinacional de

Bolivia, sabiendo que existen infraestructuras construidas de este tipo que tienen deficiencias en cuanto a su duración, mantenimiento, estructura debido al tipo de material y dosificaciones aplicadas que posiblemente no son las más adecuadas a las alternativas tecnológicas que se pueden experimentar, ensayar y probarlas de manera que sean tanto técnicamente y económicamente viables, factibles y sostenibles para el beneficio la sociedad en su conjunto.

Por lo tanto, en el presente proyecto se realiza la comparación de las siguientes alternativas de hormigones, Hormigón Convencional (HC), Hormigón Reforzado con Fibras de Acero (HRFdA) y Hormigón Reforzado con fibras de Polipropileno (HRFdP), para obtener sus características físicas, mecánicas y técnicas, para poder, identificar las diferencias, ventajas y desventajas entre ellos. Para así poder brindar información sobre los hormigones reforzados con fibras y conseguir su aplicación en pavimento rígido.

Para esta comparación, se utilizara al misma dosificación para cada hormigón, si se variara el porcentaje de fibras incluidas, se diseñara el espesor de la carpeta en un tramo sin pavimentar de la ciudad de Tarija, y se comparara estos resultados obtenidos, viendo si es factible o no, técnicamente y económicamente la aplicación de fibras en pavimento rígido.

Se llegara a establecer las diferencias entre los hormigones sometidos a estudio, se identificara las ventajas o desventajas que proporcionen las fibras sobre el hormigón convencional, específicamente si se llega a presentar disminución del espesor de la carpeta de rodadura.

La presente investigación reflejara la incidencia que puedan generar las fibras en el comportamiento del hormigón, y si se logra mejorar sus características. Como en Tarija no existen documentos relacionados a pavimentos fibroreforzados, el mismo será una fuente de información sobre ellos.

1.3.8 DISEÑO METODOLOGICO

El procedimiento para el presente proyecto se ha desarrollado bajo el siguiente modelo metodológico:

1.3.8.1 ENFOQUE DE INVESTIGACIÓN

En el desarrollo de proyecto prevalece el enfoque cuantitativo mediante el uso de datos con base en la medición numérica, para establecer patrones de comportamiento.

1.3.8.2 TIPO DE INVESTIGACIÓN

En el marco del método de la investigación científica, el presente trabajo de investigación tiene un diseño de tipo explorativo y descriptivo, desde el punto de vista que se indaga desde una perspectiva innovadora, que contribuye a identificar conceptos promisorios para preparar el terreno para nuevos estudios en proyectos similares, en base a un proceso de pasos descriptivos.

Por lo tanto, los resultados de la investigación se sustentan al experimento realizado con la incorporación de fibras al pavimento rígido. Por lo tanto, el experimento ha sido realizado durante un proceso practico del acopio de materialices, adquisición de insumos, materiales, moldes hasta la obtención del producto pavimento rígido con fibras, rotura de vigas en laboratorio y finalmente la elaboración del diseño del paquete estructural.

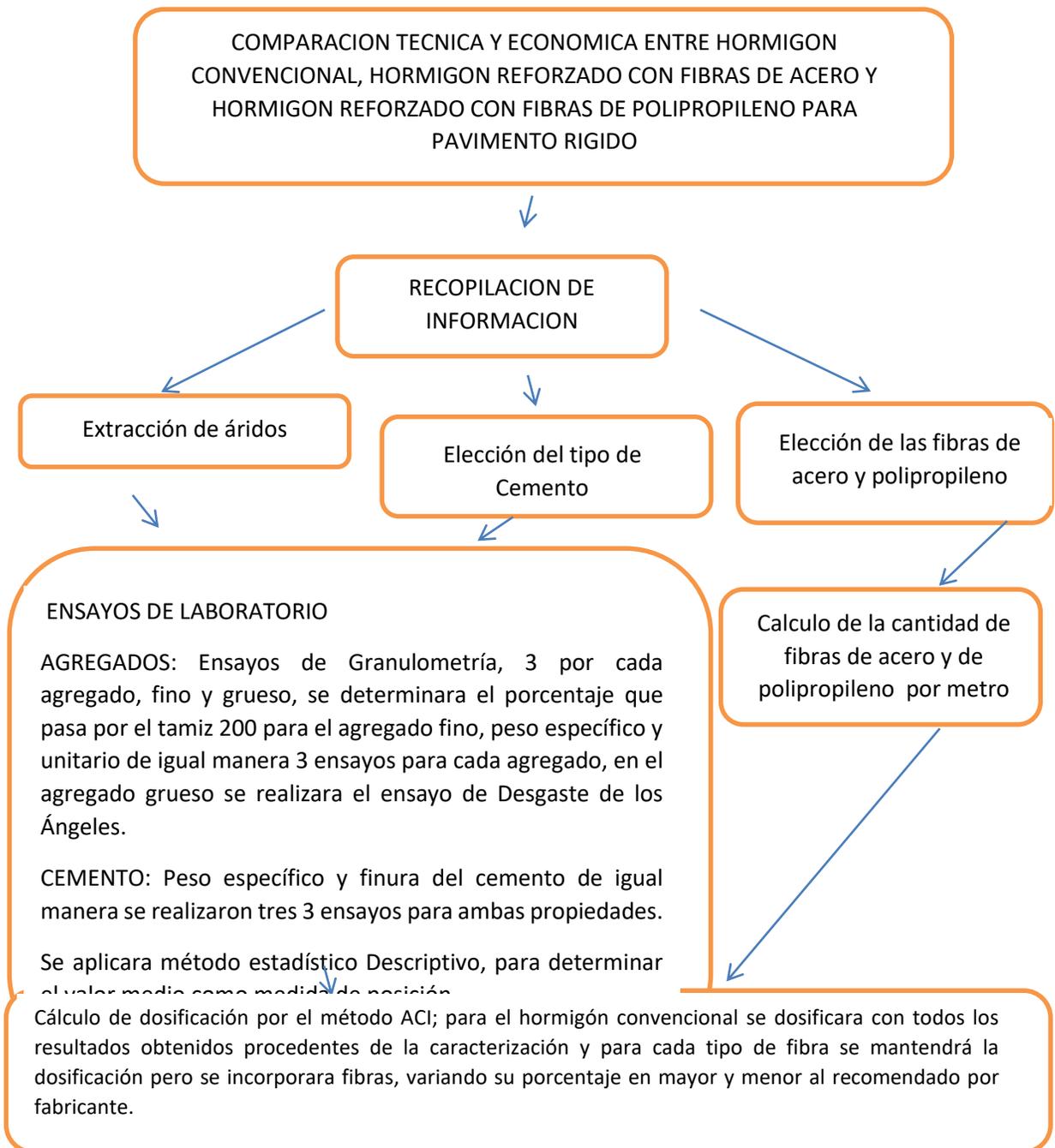
1.3.8.3 PERIODO Y LUGAR DONDE SE DESARROLLÓ LA INVESTIGACIÓN

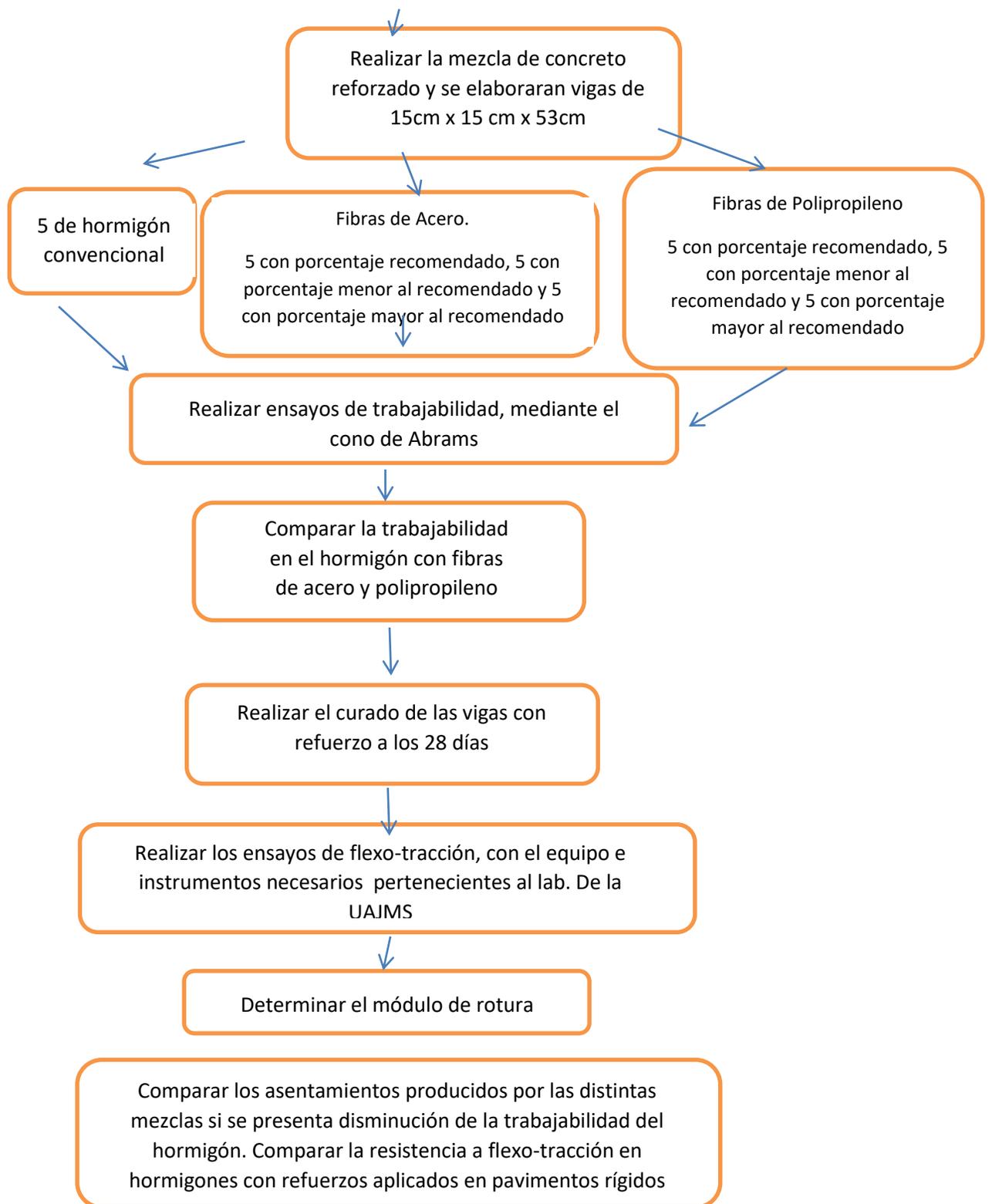
La investigación se ha desarrollado en el segundo semestre del 2015 a tiempo cursar la asignatura Proyecto de Grado II CIV505, en la carrera de Ingeniería Civil de la Facultad de Ciencias y Tecnología de la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho de la ciudad de Tarija.

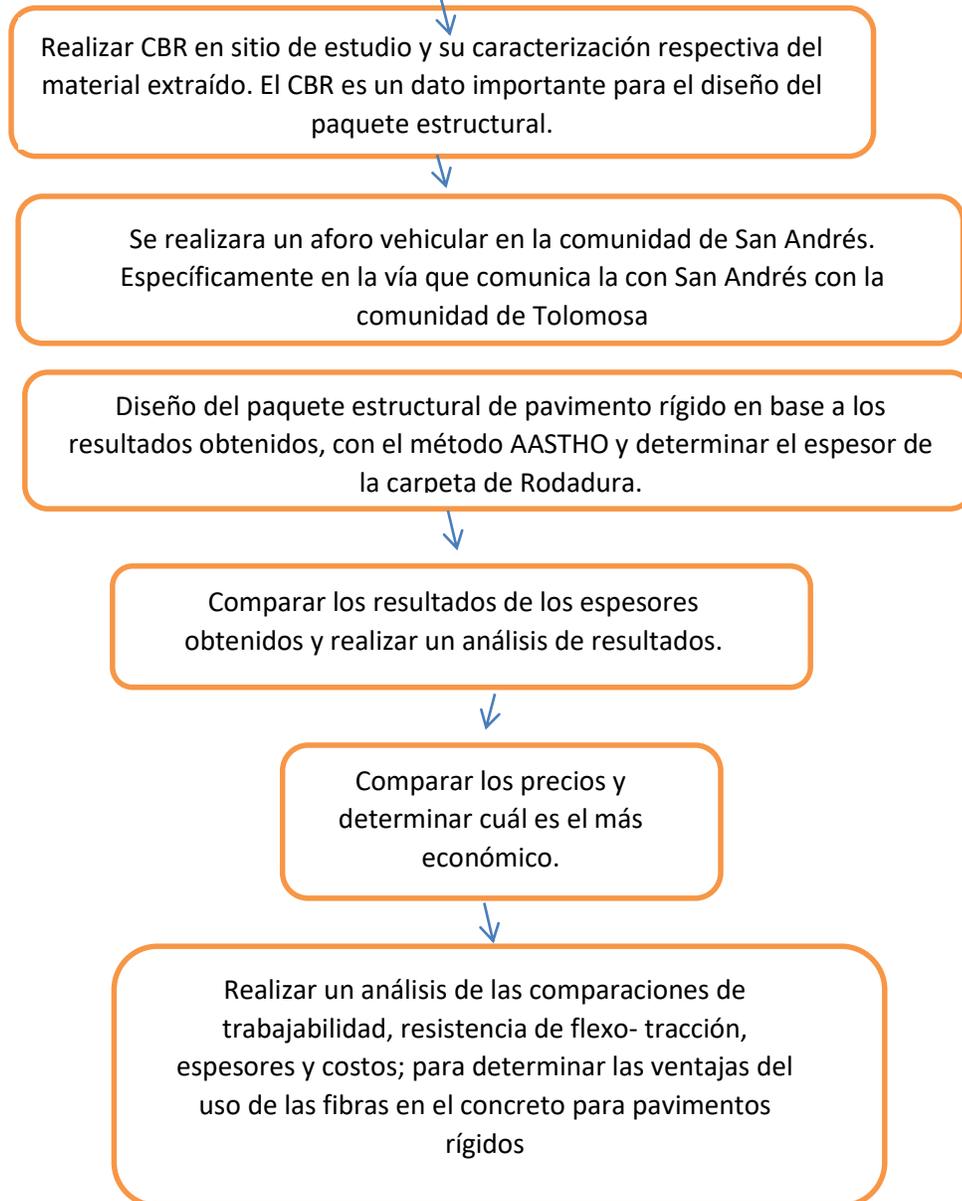
1.3.8.4 MÉTODOS TEÓRICOS Y PRÁCTICOS

Se aplica el Método de Inducción y Deducción, se utilizó la experimentación con la incorporación de materiales alternativos al pavimento rígido finalmente para hacer generalizaciones.

A continuación se muestra el proceso del desarrollo del presente proyecto en el siguiente esquema:







1.3.9 COMPONENTES

1.3.9.1 UNIDAD DE ESTUDIO

La finalidad del trabajo de investigación es el de analizar la influencia de las fibras en el hormigón para pavimentos, por tal motivo, la unidad de estudio corresponde a:

- Propiedades mecánicas, físicas y económicas de un hormigón convencional.
- Propiedades mecánicas, físicas y económicas de un hormigón reforzado con fibras de acero y de polipropileno

1.3.9.2 POBLACION

Propiedades del:

H° Convencional ----- H° Reforzado con fibras

1.3.9.3 MUESTRA

Como el presente trabajo se realizara para comparar las propiedades de hormigones reforzados para pavimentos el tamaño de la muestra será aplicado:

- En Vías, resistencia a flexo-tracción y trabajabilidad
- El diseño del espesor del pavimento
- Análisis de precios unitarios

CAPITULO II
MARCO CONCEPTUAL

2. MARCO CONCEPTUAL

2.1. HORMIGON

2.1.1. DEFINICIÓN DEL HORMIGON

El concreto u hormigón es un material homogéneo compuesto por dos elementos: pasta y agregados. El primero es una mezcla de agua y cemento, el cual une a los agregados finos y gruesos (arena y piedra) resultando un material muy resistente a la compresión. Esto se debe al endurecimiento de la pasta, el cual se da mediante una reacción química entre las partículas de cemento y agua.

2.1.2. COMPONENTES Y COMPLEMENTOS DEL CONCRETO

El concreto está compuesto por: cemento, agua, aire, agregado grueso, agregado fino y aditivos. Cada uno de ellos tiene un rol muy importante en el comportamiento del concreto en sus diferentes estados, aportando diversas características para su resistencia. A continuación se expone cada uno:

2.1.2.1. CEMENTO

El cemento es uno de los componentes más importantes para la producción del concreto. En esencia, es un material aglomerante, que con la ayuda del agua, tiene la capacidad de unir a los demás agregados del concreto y formar la pasta. Para que ello suceda, debe ocurrir un proceso conocido como hidratación, el cual se da al entrar en contacto con el agua.

2.1.2.2. AGUA

Al unirse el agua con el cemento, como se ha explicado anteriormente, ocurre la hidratación produciéndose así la pasta. Por otro lado, el agua utilizada en la producción del concreto debe ser potable, es decir, que no tenga alto contenido de sales, ácidos, álcalis y materias orgánicas.

Además de su función como hidratante, ayuda a la mejora de la trabajabilidad de la mezcla.

2.1.2.3. AGREGADOS

Alrededor de las tres cuartas partes (75%) del volumen del hormigón convencional es ocupado por agregados que consisten en materiales como arena, grava, roca triturada o escoria siderúrgica. Es inevitable que un componente que ocupa un porcentaje tan grande de la masa contribuya con importantes propiedades tanto para el hormigón plástico (fresco) como para el endurecido; para este último la selección adecuada de las proporciones y tipo de agregado influye en propiedades como la estabilidad volumétrica, el peso unitario, la resistencia a un medio ambiente destructivo, las resistencias mecánicas, las propiedades térmicas y la textura superficial.

2.2. PROPIEDADES DEL CONCRETO

El concreto posee dos estados: el estado fresco y el estado sólido. Cada uno de estos posee distintas propiedades ya que varían en comportamiento y uso.

2.2.1 CONCRETO FRESCO

El concreto presenta la siguiente propiedad:

2.2.1.1. TRABAJABILIDAD

Se define como la facilidad de colocación, consolidación y acabado del concreto en estado fresco. Esta es una propiedad a la cual se le debe tener bastante consideración debido a que, para lograr una óptima colocación del concreto, este debe ser trabajable. La medición de la trabajabilidad es llevado a cabo mediante el ensayo conocido como el cono de Abrams, el cual arrojará como resultado una medida cuantitativa conocida como Slump.

2.2.2. CONCRETO ENDURECIDO

Este estado se da una vez que la mezcla ya ha fraguado y presenta las siguientes propiedades:

a) Resistencia

Es la capacidad que tendrá el concreto de resistir a las diferentes sollicitaciones siendo las principales: Resistencia a la compresión, flexión y tracción. La propiedad sobresaliente del concreto es la resistencia a la compresión, sin embargo la resistencia a la tracción, comparándolo con la compresión, es de 10%; es por ello que se le añade acero al concreto, el cual aumenta características para resistir a la tracción. Trabaja en conjunto con el concreto para darle un mejor comportamiento frente a estos dos esfuerzos. Cabe resaltar que la resistencia está estrechamente ligada con la relación agua-cemento.

b) Impermeabilidad y estanquidad

La impermeabilidad viene a ser la capacidad del concreto de resistir la penetración del agua y el estancamiento o hermeticidad es la habilidad para la retención del agua. Sin embargo, no es impermeable.

c) Estabilidad de volumen y control de fisuración

El concreto es un material que constantemente cambia su volumen, puede dilatarse como contraerse, debido a distintos factores, tales como la temperatura, humedad y esfuerzos de tracción interna. Debido a estas variaciones se pueden producir fisuraciones y una manera de controlarlas es mediante juntas, las cuales son ranuras o cortes que se hacen en el concreto fresco o endurecido.

d) Durabilidad

Es la habilidad del concreto para resistir a distintos tipos de ambientes, ataques químicos y a la abrasión (desgaste). La durabilidad varía según el tipo de concreto y de la exposición del mismo al medio ambiente.

2.3. ASPECTOS GENERALES DEL PAVIMENTO RIGIDO

2.3.1. GENERALIDADES

La ingeniería de pavimentos es una disciplina que combina el conocimiento de la mecánica de los materiales, el análisis estructural de elementos, las tecnologías constructivas, y la gestión de la conservación. Esta interacción representa un reto constante para el ingeniero de pavimentos quien debe buscar la solución más adecuada al costo más efectivo.

Los pavimentos se denominan flexibles o rígidos por la forma en que transmiten los esfuerzos y deformaciones a las capas inferiores, que depende de la relación de rigideces relativas de las capas. Un pavimento flexible transmite esfuerzos concentrados en una pequeña área, mientras que un pavimento rígido distribuye los esfuerzos en una mayor área.

Los pavimentos rígidos se utilizan en aeropuertos y principales autopistas. También son aplicados en pisos industriales, puertos y en zonas de operación de vehículos pesados. El tipo más común de material usado para la construcción de pavimentos rígidos es la losa de concreto hidráulico, por razones económicas y su fácil disponibilidad. La losa de concreto debe estar diseñada para soportar cargas de tráfico y evitar fallas por fatiga del pavimento debido a las cargas repetidas. Los pavimentos rígidos pueden ser diseñados para un periodo de vida útil de 15 a 20 años, sin embargo es más probable que sus periodos de diseño sean de 30 a 40 años.

Además de las cargas de tráfico se debe considerar el efecto de gradiente térmico que genera esfuerzos de tracción que pueden ocasionar la falla del concreto por su baja resistencia a la tensión. Este problema suele ser controlado mediante la elección adecuada de las dimensiones en planta de las losas, en caso que se considere la colocación de refuerzos para controlar fisuras y espaciamientos de las grietas, y mediante el diseño del mecanismo de transferencia de carga en las juntas.

Otra consideración importante en el diseño de pavimento de concreto es la deficiencia en las juntas causados por el bombeo de finos o erosión de los materiales de apoyo. El bombeo se refiere a la expulsión de agua y materiales de grano fino de las capas de apoyo debido a la deflexión de la losa en las juntas por movimiento de cargas de tráfico. Este problema se ha producido en la articulación de pavimentos rígidos bajo la aplicación repetida de cargas de camiones pesados. La erosión de los materiales de apoyo puede ocurrir debido a la disposición de drenaje inadecuado.¹

2.3.2. PAVIMENTOS RÍGIDOS

Son aquellos que fundamentalmente están constituidos por una losa de concreto, apoyada sobre una subrasante o sobre una capa de material seleccionado, la cual se denomina subbase del pavimento. Debido a la alta rigidez del concreto hidráulico así como de su elevado coeficiente de elasticidad, la distribución de los esfuerzos se produce en una zona muy amplia. Además como el concreto es capaz de resistir, en cierto grado esfuerzos a la tensión, el comportamiento de un pavimento es suficientemente satisfactorio aun cuando existan zonas débiles en la subrasante. La capacidad estructural de un pavimento rígido depende de la resistencia de las losas y por la tanto el apoyo de las capas subyacentes ejerce poca influencia en el diseño del espesor del pavimento.

Los Pavimentos Rígidos: Son aquellos formados por una losa de concreto Portland sobre una base, o directamente sobre la sub-rasante. Transmite directamente los esfuerzos al suelo en una forma minimizada, es auto-resistente, y la cantidad de concreto debe ser controlada.

En función a lo señalado anteriormente; se puede diferenciar que en el pavimento rígido, el concreto absorbe gran parte de los esfuerzos que las ruedas de los vehículos ejercen sobre el pavimento.

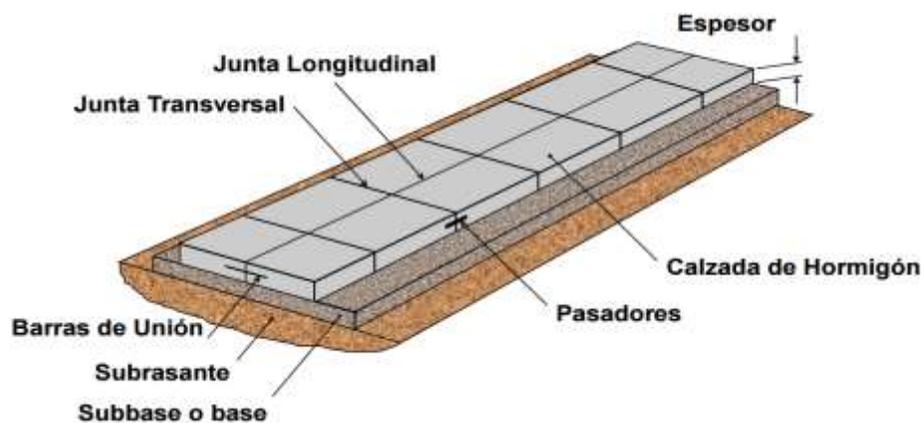
¹ Fuente: <http://www.duravia.com.pe/ciclo-de-vida/>

2.3.3. COMPONENTES ESTRUCTURALES.

Un pavimento rígido en su forma más completa se compone de:

- Terreno de fundación
- Subrasante
- Sub-base
- Losa de concreto (Calzada de Hormigón)

Figura 2.1 Componentes estructurales



2.3.4. TERRENO DE FUNDACIÓN

El terreno de fundación es un elemento muy importante en la estructura de una carretera, su capacidad de soporte depende en gran parte el espesor que debe tener un pavimento, sea este flexible o rígido. Si el terreno de fundación es pésimo debe desecharse este material y sustituirse por otro de mejor calidad. Si el terreno de fundación es malo y se halla formado por un suelo fino, limoso o arcilloso susceptible de saturación habrá de ponerse una sub-base de material granular seleccionada antes de ponerse la base y capa de rodadura.

En conclusión resumiendo lo anterior:

- a) Si el terreno de fundación es pésimo debe desecharse y sustituirse por otro de mejor calidad
- b) Si el terreno de fundación es malo habrá de colocarse una sub-base de material seleccionado antes de poner la base.
- c) Si el terreno de fundación es bueno podrá prescindirse de la sub-base.
- d) Si el terreno es excelente podrá prescindirse de la sub-base y de la base.

Requerimientos

Los materiales para base granular cumplirán los requerimientos indicados en Requerimientos Generales. Las granulometrías deben ajustarse a una de las siguientes bandas: TM-50b, TM-50c, TM-25, de la tabla 1, el porcentaje de chancado, no deberá ser menor que 50%.

En cuanto a las propiedades mecánicas, el material deberá tener un soporte CBR mayor al 80%.

2.3.5. SUBRASANTE

Es el terreno de cimentación del pavimento. Puede ser el suelo natural, debidamente recortado y compactado; o puede ser, debido a los requerimientos del diseño geométrico, cuando el suelo natural es deficiente, y el material seleccionado de relleno es de buena calidad. En todo caso, el material deberá cumplir con las normas de calidad de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes

Subrasante se denomina al suelo que sirve como fundación para todo el paquete estructural de un pavimento. En la década del 40, el concepto de diseño de pavimentos estaba basado en las propiedades ingenieriles de la subrasante. Estas propiedades eran la clasificación de suelos, plasticidad, resistencia al corte, susceptibilidad a las heladas y drenaje.

Desde las postrimerías de la década del 50, se puso más énfasis en las propiedades fundamentales de la subrasante y se idearon ensayos para caracterizar mejor a estos suelos. Ensayos usando cargas estáticas o de baja velocidad de deformación tales como el CBR, compresión simple son reemplazados por ensayos dinámicos y de repetición de cargas tales como el ensayo del módulo resiliente, que representan mucho mejor lo que sucede bajo un pavimento en lo concerniente a tensiones y deformaciones.

Los materiales de subrasante

Los materiales que se utilicen como capa subrasante deberán ser, de preferencia, del tipo: GW, GW, SW, SM, ML, e incluso se, siempre que la porción fina, o sea la arcilla, no sea de alta plasticidad. Este material deberá ser compactado del 95 al 100 % de la prueba de compactación AASHTO T-99 o estándar. Cuando los materiales sean del tipo Cl, MH, CH, CIML y cuando su límite líquido, LL, esté comprendido entre 50% y 100%, se analizará la posibilidad de mejorarlos, con la finalidad de reducir los valores del LL y, en consecuencia, del Ip. Cuando el terreno de apoyo sea del tipo MH, CH YOH con LL = 100%, serán desechados como material de apoyo. Para ello se recomienda una sustitución del material en espesores mínimos de 30 cm. En todos los casos en que se encuentren bolsas de material con alto contenido de materia orgánica se deberá proceder a su sustitución total con material limoso mezclado con arena y/o grava. Cuando en el corte de suelos naturales afloren fragmentos de roca, éstos no serán admitidos como lecho de apoyo. De ser así, se deberá proceder a la remoción de estos fragmentos endurecidos.

2.3.6 SUB-BASE

Es una capa de materiales pétreos, de buena graduación: construida sobre la subrasante. Esta capa, al igual que la anterior, deberá cumplir con los requisitos de compactación y de calidad a que se hace referencia para la capa subrasante. Esta capa es la que subyace a la capa base, cuando ésta es necesaria, como es el caso de los pavimentos flexibles. Normalmente, la sub-base se construye para lograr espesores menores de la capa base, en el caso de pavimentos flexibles. En el caso de pavimentos de concreto,

en muchos casos resulta conveniente colocar una capa sub-base cuando las especificaciones para pavimento son más exigentes.

Requerimientos

Los materiales para subbase deberán cumplir con los requerimientos estipulados en Requerimientos generales y con la graduación TM-50a de la tabla 1.

En cuanto a las propiedades mecánicas, el material deberá tener un soporte CBR mayor al 40%.

Materiales granulares compuestos por gravas, gravas-arenosas, mezclas de arena, limo y gravas, etc. El material empleado deberá cumplir con lo siguiente:

Tabla 2.1. Granulometría para Sub-base

Tabla 1.2 Normas de calidad (Granulometría) Sub-base	
Denominación de la Malla	% que pasa
1½"	100
¾"	72 - 100
3/8"	50 - 84
Nº 4	37 - 70
No 20	16 - 45
No 60	9 - 35
No 200	5 - 25

Adicionalmente el material deberá cumplir lo siguiente:

Límite líquido:	25 % Máx.
Índice de plasticidad:	6 % Máx.
Desgaste Los Angeles: (porción gruesa)	40 % Máx.
Contracción lineal:	4.0 % máx.
Equivalente de arena:	25 min
Valor Relativo Soporte	
Menos de 500 vehículos pesados por día:	50 % Min.
Más de 500 vehículos pesados por día:	60 % Min.

Fuente: Guía Para el Diseño y Construcción de Pavimentos Rígidos

Función

La función más importante es impedir la acción del bombeo en las juntas, grietas y extremos del pavimento. Se entiende por bombeo a la fluencia de material fino con agua fuera de la estructura del pavimento, debido a la infiltración de agua por las juntas de las losas. El agua que penetra a través de las juntas licua el suelo fino de la subrasante facilitando así su evacuación a la superficie bajo la presión ejercida por las cargas circulantes a través de las losas. Otras funciones:

- Servir como capa de transición y suministrar un apoyo uniforme, estable y permanente del pavimento.
- Facilitar los trabajos de pavimentación.
- Mejorar el drenaje y reducir por tanto al mínimo la acumulación de agua bajo el pavimento.
- Ayudar a controlar los cambios volumétricos de la subrasante y disminuir al mínimo la acción superficial de tales cambios volumétricos sobre el pavimento.
- Mejorar en parte la capacidad de soporte del suelo de la subrasante.

2.3.7. LOSA DE CONCRETO

Es la parte superior del pavimento, los esfuerzos se distribuyen de acuerdo a la rigidez de la losa, generando que las capas inferiores, base y subbase, soporten menos esfuerzos.

Superficie de rodamiento constituida por materiales endurecidos para pasar minimizados los esfuerzos hacia las terracerías.

La carpeta debe proporcionar una superficie uniforme y estable al tránsito, de textura y color conveniente y resistir los efectos abrasivos del tránsito.

- **Impermeabilidad.** Hasta donde sea posible, debe impedir el paso del agua al interior del pavimento.

- **Resistencia.** Su resistencia a la tensión complementa la capacidad estructural del pavimento.

Requerimientos

Cuando se prevea que la carpeta de rodadura va a quedar expuesta por varios años sin una protección, el material deberá cumplir con el requerimiento general, con un contenido mínimo de chancado de 50% y con la banda TM-40c.

En cuanto a las propiedades mecánicas, el material deberá tener un soporte CBR mayor o igual a 60%.

2.3.8. JUNTAS

La colocación de juntas en pavimentos rígidos es necesaria para el control de fisuración por contracción, cambios de temperatura y humedad. Es necesaria además para modular el pavimento con dimensiones prácticas que favorezcan al proceso constructivo. Por otra parte la presencia de juntas constituye una interrupción estructural necesaria en la losa de hormigón.

En función al tipo de material de sello a usarse, se requerirá resellados periódicos para asegurar un desempeño satisfactorio a través de la vida útil del pavimento. También un desempeño satisfactorio depende de un diseño apropiado del pavimento, materiales de calidad en la construcción, y buenos procedimientos de construcción y mantenimiento.

El agrietamiento debido a la contracción del hormigón ocurre a muy temprana edad, como consecuencia de cambios de temperatura durante los procesos de hidratación y fraguado, así como por la pérdida de agua por evaporación. Esta contracción no ocurre libremente, puesto que se encuentra restringida por las fuerzas de fricción desarrolladas entre las superficies en contacto de la losa con la subbase, lo que genera esfuerzos de tensión en el hormigón que provocan fisuración transversal en el pavimento.

En el diseño de juntas se debe tener en cuenta las condiciones que aseguren la transferencia de cargas deseada, así como permitir la colocación de un material de sello

que impida la infiltración de agua y la penetración de materiales incompresibles que restrinjan el libre movimiento de las losas.

Para determinar un sistema de juntas apropiado, se debe considerar además, las condiciones ambientales y de clima, espesor de losa, tipo de subbase, tipo de berma o cordón y tráfico.

Las fisuras en los pisos de concreto generalmente son causadas por los cambios volumétricos, estos crean esfuerzos de tracción y cuando este excede el esfuerzo último del concreto, este se fisura.

Las juntas permiten que el concreto se pueda mover ligeramente, esto reduce las restricciones y reduce los esfuerzos que causan las fisuras.

A continuación se tiene la clasificación de juntas por el PCA (Portland Cement Association)

2.3.8.1. JUNTAS DE AISLAMIENTO

Este tipo de junta separa la losa de elementos estructurales continuos ya sea placas, columnas, etc.; lo cual permite que cada elemento trabaje independientemente uno del otro. Permiten el movimiento vertical y horizontal entre las caras de la losa y los otros elementos fijos.

.3.8.2 JUNTAS DE CONSTRUCCIÓN

Se realizan frecuentemente para alinear la verticalidad de las juntas, unir concretos de diferentes edades; estas deben ser diseñadas y construidas para que funcionen como juntas de contracción o aislamiento.

2.3.8.3. JUNTAS DE CONTRACCIÓN

Reducen los esfuerzos por contracción del concreto debido a su cambio de temperatura. Con una apropiada profundidad, espaciamiento y tiempo de instalado, estas ayudan a controlar las fisuras que se generan por el movimiento horizontal. Se puede realizar

con el concreto fresco (manualmente) o también en su estado sólido, cortándolo con una máquina.

2.3.8.4. JUNTAS DE DILATACIÓN

Se utiliza para controlar los movimientos que generan las tensiones producidas en el interior de las estructuras como: expansiones o alabeos debidos a variaciones de humedad y temperaturas de ambiente.

2.4. ESFUERZOS EN PAVIMENTOS RÍGIDOS

Los esfuerzos en pavimentos rígidos se desarrollan por diversos factores:

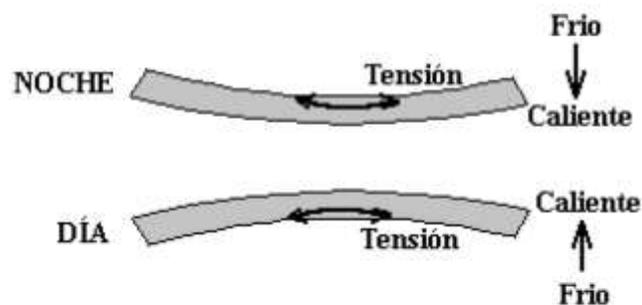
- Cambios de temperatura
- Cambios de humedad
- Cargas del tránsito

2.4.1. CAMBIOS DE TEMPERATURA

Al cambiar la temperatura ambiente durante el día, también cambia la temperatura del pavimento. Este ciclo térmico crea un gradiente térmico en la losa.

El gradiente produce un alabeo (curvatura) en la losa.

Figura 2.2. Cambios de Temperatura en el pavimento rígido

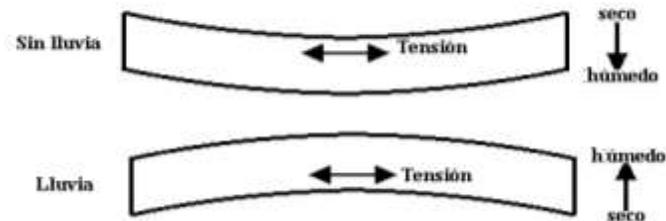


2.4.2. CAMBIOS DE HUMEDAD

El alabeo también se produce por cambios de humedad en la losa. Estos esfuerzos suelen ser opuestos a los producidos por cambios cíclicos de temperatura. En climas

húmedos, la humedad de las losas es relativamente constante. En climas secos, la superficie se encuentra más seca que el fondo.

Figura 2.3. Alabeo por cambios de humedad en el pavimento rígido



2.5. CARGAS POR TRANSITO

2.5.1. CARGAS VEHICULARES

Son los Vehículos pesados, tales como los camiones, maquinaria pesada, monta cargas, etc. Para poder diseñar el pavimento rígido se necesita las especificaciones del vehículo: área de contacto de neumático, máxima carga por eje y distancia entre las llantas.

2.5.2. CARGAS CONCENTRADAS

Son Fuerzas aplicadas sobre un área pequeña, como son las estanterías. Se requiere La Máxima carga representativa, la distancia entre los postes como la distancia de los pasillos, el área de contacto y la ubicación de las cargas con respecto a las juntas

2.6. REQUERIMIENTOS GENERALES

Estas especificaciones definen las calidades y graduaciones de mezclas de arena-arcilla; gravas o escorias seleccionadas; arenas o material triturado proveniente de pétreos o escorias o cualquier combinación de estos materiales para ser utilizados como subbase, bases y capas de rodadura.

- Los áridos gruesos, retenidos sobre el tamiz N°4, deben ser partículas durables, constituidas de fragmentos de roca, grava o escorias. Materiales que se quiebran con ciclos alternados de hielo-deshielo y humedad-sequedad, no deben ser usados.

- Las fracciones que pasen por el tamiz N°200, deben estar constituidas por arenas naturales o trituradas y por partículas minerales que pasan por el tamiz 200.
- Las fracciones que pasan por tamiz 0.075mm (200), no deberán ser mayores que los 2 tercios de la fracción que pasa por el tamiz 40.
- Todo el material debe estar libre de materias orgánicas y terrones de arcilla.
- La graduación debe estar conforme con los requerimientos de la tabla 2.

Tabla 2.2. Granulometría para Sub-base, Base y Capas de rodadura

BANDAS GRANULOMÉTRICAS PARA SUBBASE, BASES Y CAPAS DE RODADURA								
Tamiz		TM-50a	TM-50b	TM-50c	TM-40a	TM-40b	TM-40c	TM-25
(mm)	Alternativo							
50	2"	100	100	100				
37,5	1 ½"	-	70 - 100	-	100	100	100	
25	1"	55 - 100	55 - 85	70 - 100	70 - 100	80 - 100	80 - 100	100
19	¾"	-	45 - 75	60 - 90	50 - 80	-	-	70 - 100
9,5	3/8"	30 - 75	35 - 65	40 - 75	25 - 50	50 - 80	50 - 80	50 - 80
4,75	Nº 4	20 - 65	25 - 55	30 - 60	10 - 30	35 - 65	35 - 65	35 - 65
2,36	Nº 8	-	-	-	5 - 15	-	-	-
2	Nº 10	10 - 50	15 - 45	15 - 45	-	25 - 50	25 - 50	25 - 50
0,425	Nº 40	5 - 30	5 - 25	10 - 30	0 - 5	10 - 30	10 - 30	10 - 30
0,075	Nº 200	0 - 20	0 - 10	0 - 15	0 - 3	5 - 15	5 - 15	5 - 15

Fuente: Manuales Técnicos para el diseño de pavimentos

2.6.1. REQUERIMIENTOS DE GRANULOMETRÍA SEGÚN NORMA BOLIVIANA NB 598 ÁRIDOS PARA MORTEROS Y HORMIGONES – GRANULOMETRÍA

Granulometría.- distribución por tamaños de las partículas que constituyen un árido.

Árido Fino.- Es el árido o fracción del mismo que al ser tamizado en el tamiz 5mm, pasa como mínimo el 95% y queda retenido en su totalidad en el tamiz N.B. 75mm

La granulometría del árido fino debe encontrarse dentro de los límites especificados en la tabla 2.3, y registrarse como árido fino de granulometría I,II,III,IV. Cuando la

granulometría se salga de los límites de cualquier granulometría en una cantidad que no exceda al 5% se aceptara que tiene dicha granulometría.

Tabla 2.3. Granulometría del árido fino

Tamiz N.B.	Porcentaje que pasa en peso			
	I	II	III	IV
5 mm	90 - 100	90 - 100	90 - 100	95 - 100
2,36 mm	60 - 95	75 - 100	85 - 100	95 - 100
1,18 mm	30 - 70	55 - 90	75 - 100	90 - 100
600 μ	15 - 34	35 - 59	60 - 79	80 - 100
300 μ	5 - 20	3 - 30	12 - 40	15 - 50
150 μ	0 - 10	0 - 10	0 - 10	0 - 10

Fuente: Norma Boliviana

Árido Grueso.- Árido o fracción del mismo que al ser tamizado en el tamiz 5mm, queda retenido como mínimo el 95%.

La granulometría del árido grueso debe encontrarse dentro de los límites especificados en la tabla 2.4. Para cualquiera de los tamaños nominales.

Tabla 2.4. Granulometría del árido grueso

TABLA 2 Granulometría del árido grueso

Tamaño N.º	Porcentaje que pasa en peso para ser considerado como árido de tamaño nominal					Porcentaje que pasa en peso para ser considerado como árido gradado de tamaño nominal				
	63 mm	40 mm	20 mm	10 mm	12,5 mm	9,5 mm	40 mm	20 mm	10 mm	12,5 mm
60 mm	100	-	-	-	-	-	100	-	-	-
63 mm	25 - 100	100	-	-	-	-	-	-	-	-
40 mm	0 - 30	85 - 100	100	-	-	-	95 - 100	-	-	-
20 mm	0 - 5	0 - 20	85 - 100	100	-	-	35 - 70	95 - 100	100	100
16 mm	-	-	-	85 - 100	100	-	-	-	90 - 100	-
12,5 mm	-	-	-	-	85 - 100	100	-	-	-	90 - 100
9,5 mm	0 - 5	0,5	0 - 20	0 - 30	0 - 45	85 - 100	15 - 35	25 - 55	30 - 70	40 - 85
4,75 mm	-	-	0 - 5	0 - 5	0 - 10	0 - 20	0 - 5	0 - 10	0 - 10	0 - 10
2,36 mm	-	-	-	-	-	0 - 5	-	-	-	-

Fuente: Norma Boliviana

2.6.2. CONSIDERACIONES TÉCNICAS.

Los pavimentos de hormigón son diseñados para obtener una forma económica un buen comportamiento durante una larga vida de servicio. Diversos factores deben analizarse para obtener el diseño con un costo más bajo anual posible, estos factores son:

- Tránsito considerando las cargas por eje o rueda.
- Vida útil para el diseño.
- Diseño geométrico.
- Subrasante
- Calidad del hormigón.
- Juntas.

2.7. HORMIGÓN REFORZADO CON FIBRAS PARA PAVIMENTO RÍGIDO

2.7.1 INTRODUCCIÓN

En los últimos años, la utilización de hormigones reforzados con fibras (HRF) ha ido creciendo en la construcción de pavimentos rígidos, pisos industriales, contención de túneles, etc. La incorporación de fibras al hormigón mejora las propiedades mecánicas del mismo, aumentando su ductilidad, lo cual mejora la calidad de la obra aumentando su vida útil controlando la fisuración.

La incorporación de fibras metálicas, sintéticas en el hormigón, ha demostrado ser un medio útil para mejorar su capacidad de controlar la propagación de fisuras aumentar su resistencia a la tracción y su capacidad de deformación.

Desafortunadamente, a pesar del uso cada vez más creciente de los hormigones con fibras no existe, a nivel normativo, una instrucción que permita establecer un marco de referencia para la adición apropiada de fibras en los hormigones para poder evitar contratiempos durante la preparación, manejo y colado.

2.7.2. HORMIGÓN REFORZADO CON FIBRAS

Según la definición del Anexo 14 de la instrucción EHE 08, “los hormigones reforzados con fibras (HRF) se definen como aquellos hormigones que incluyen en su composición fibras cortas, discretas y aleatoriamente distribuidas en su masa”.

El hormigón convencional tiene algunos inconvenientes, como baja resistencia a la tracción a la ductilidad y a la capacidad de absorción de energía. Cuanta más alta es la resistencia del hormigón, estos inconvenientes se vuelven significativos. Para mejorar el funcionamiento del hormigón se añade una pequeña fracción de fibras, mientras se mezclan los agregados y el cemento.

Los hormigones reforzados con fibras HRF los define la Normativa Española EHE-08 como aquellos que incluyen en su composición fibras cortas, discretas y aleatoriamente distribuidas en su masa.

Los HRF tienen finalidades de carácter estructural o no estructural, son de carácter estructural cuando se toma en cuenta su contribución en los cálculos relativos al estado límite último o de servicio, dichas fibras pueden sustituir parcial o totalmente la armadura de la sección. Son de carácter no estructural cuando las fibras mejoran otros aspectos de la sección como la resistencia al fuego o el control de fisuración.

La influencia de la incorporación de fibras en el concreto es de uso general, en las propiedades mecánicas del concreto, las fibras brindan control de agrietamiento

durante el asentamiento plástico del concreto y después que el concreto esté totalmente endurecido.

En la investigación se realizarán ensayos comparativos entre un concreto con fibras de acero, con un concreto de fibras de polipropileno. Las propiedades del concreto que se estudiarán serán la trabajabilidad, la resistencia a flexo-tracción.

La adición de las fibras en el hormigón debe permitir una distribución uniforme y obtener un producto homogéneo.

La elección de los distintos tipos de fibras y su dosificación dependerá de la calidad del hormigón, de las cargas y del tipo de terreno

Tan importante como la capacidad de las estructuras para resistir las solicitaciones producidas por las cargas aplicadas sobre ellas, es el obtener estructuras durables en el tiempo, capaces de resistir durante su periodo de vida útil las acciones del medioambiente, ataques físicos, químicos u otros procesos de deterioro con mínimo mantenimiento. Los Hormigones Reforzados con Fibras (HRF) constituyen una de las innovaciones más relevantes en el campo de los hormigones especiales. Es por ello que este trabajo pretende abordar, con una perspectiva amplia, la compleja problemática actual planteada alrededor de la durabilidad del hormigón reforzado con fibras para desarrollar ideas en torno a ella y tratar de dar una visión analítica e incluso crítica de la misma.

Gracias a la adición de fibras, este tipo de hormigón alcanza unos niveles de resistencia muy superiores a los del hormigón convencional, incrementando así sus prestaciones y aplicaciones. Se consigue minimizar el desarrollo de grietas de retracción durante el fraguado al tiempo que obtenemos un refuerzo tridimensional secundario.

2.7.3. TÉCNICAS PARA LA PRODUCCIÓN DE HORMIGÓN REFORZADO CON FIBRAS

Durante la producción de hormigones reforzados con fibras, el principal problema que se presenta es cómo garantizar que las fibras se dispersen uniformemente dentro de la matriz de hormigón, sin que exista la formación de nidos de fibra. Los nidos de fibras se forman en el momento de la mezcla, básicamente debido a los siguientes problemas:

- Las fibras ya formaron nidos antes de ser adicionadas en el hormigón. Los procesos tradicionales de producción de hormigón son incapaces de deshacer estos nidos.
- Las fibras fueron adicionadas muy rápidamente a la mezcla, impidiendo que se dispersen eficientemente.
- Un volumen muy grande de fibras fue adicionado a la matriz de hormigón.
- El equipo está muy desgastado o es ineficiente para dispersar las fibras eficientemente.
- Las fibras fueron introducidas en la mezcladora antes de los demás componentes del hormigón, lo que, ciertamente, causará el surgimiento de nidos.

Se tiene algunas instancias en que las fibras pueden ser añadidas:

La mejor forma de preparación de la mezcla in situ es colocar el agregado grueso y fino dentro de la mezcladora; luego, poner a mano las fibras en forma de lluvia y, por último, introducir el cemento en proporción al agua. Se debe dar un tiempo de por lo menos 4 minutos de mezclado para su correcta dispersión y para evitar la formación de nidos.

Otra forma es añadir a la mezcla en bolsas pre-pesadas que se desintegran con la acción de mezclado. Las bolsas pueden ser colocadas directamente en el sistema de mezclado para asegurar un porcentaje de mezclado adecuado.

2.7.4. VENTAJAS DE LAS FIBRAS EN LOS PAVIMENTOS DE HORMIGÓN

Las fibras dan ventajas técnicas y económicas a los pavimentos de hormigón, como ser:

- Incremento a la resistencia a fatiga.
- Gran tenacidad.
- Gran resistencia al impacto con respecto a las cargas estáticas y dinámicas.
- Reducción de espesores del pavimento son posibles debido a la ductilidad y a la mejora de la capacidad portante, lo cual ofrece ahorro de tiempo, costo de tiempo y mano de obra.

En el dimensionamiento del espesor del pavimento rígido se debe tomar en cuenta las cargas producidas sobre el pavimento ya que producen flexiones en las losas, originando tensiones de compresión y flexión en el hormigón; y estas últimas producen tensiones de tracción a las fibras extremas, dando lugar a la situación más desfavorable para el hormigón.

Por esta razón se utiliza la resistencia al flexo tracción del hormigón como parámetro fundamental para caracterizar este material, también se debe tomar en cuenta el módulo de elasticidad

2.7.5. INFLUENCIA DEL PORCENTAJE DE FIBRAS INCORPORADO

El porcentaje de fibras incorporado tiene una influencia muy grande en el comportamiento del compuesto, pues define el número de fibras presentes en la sección de ruptura, que actúan como puente de transferencia de tensiones.

Cuanto mayor sea el porcentaje, mayor será la probabilidad de que las fisuras intercepten un mayor número de fibras.

El porcentaje de fibras presenta un efecto muy difícil de controlar, ya que a mayor cantidad de fibras, menor la trabajabilidad. Para poder aumentar la trabajabilidad se debe aumentar agua, pero a mayor cantidad de agua, menor resistencia.

2.8. DESCRIPCION DE LOS MATERIALES

2.8.1. CEMENTO

El cemento a emplear en pavimentos de concreto será normalmente el de tipo I, es decir, el de tipo común. En casos especiales en que los pavimentos están expuestos a acciones moderadas de sulfatos, o por requerimientos de tiempo de hidratación, se utilizarán los cementos II a V. En general, el cemento empleado deberá cumplir mínimamente con las Normas de Calidad vigentes.

Se podrá usar cualquier marca comercial, siempre y cuando se trate de utilizar el cemento producido por la misma fábrica.

El almacenamiento del cemento deberá ser tal que se garantice la conservación de sus propiedades originales de fabricación.

No se aconseja emplear cemento que tenga más de 90 días de almacenamiento

2.8.2. AGREGADOS

Por considerar de utilidad se debe conocer de forma cuantitativa la distribución de los granos, a continuación se resumen los tipos de malla adoptados por la S.C.T. para definir la granulometría de los agregados.

El valor nominal de las mallas corresponde a su abertura en milímetros.

Tabla 2.5. Aberturas nominales de tamices

Tabla 2.1 Aberturas nominales de las mallas			
Nominal	En pulgadas	Nominal	En pulgadas
No. 75.0-	Malla 3"	No. 1.40	Malla No. 14
No. 63.0	Malla 2 1/2"	No. 1.18	Malla No. 16
No. 50.0	Malla 2"	No. 1.00	Malla No. 18
No. 37.5	Malla 1 1/2"	No. 0.85	Malla No. 20
No. 31.5	Malla 1 1/4"	No. 0.60	Malla No. 30
No. 25.0	Malla 1"	No. 0.425	Malla No. 40
No. 19.0	Malla 3/4"	No. 0.300	Malla No. 50
No. 16.0	Malla 5/8"	No. 0.250	Malla No. 60
No. 12.5	Malla 1/2"	No. 0.180	Malla No. 80
No. 9.5	Malla 3/8"	No. 0.150	Malla No. 100
No. 8.0	Malla 5/16"	No. 0.106	Malla No. 140
No. 6.3	Malla 1/4"	No. 0.075	Malla No. 200
No. 4.75	Malla No. 4	No. 0.045	Malla No. 325
No. 2.36	Malla No. 8		
No. 2.0	Malla No. 10		
No. 1.70	Malla No. 12		

2.8.3. AGUA

El agua deberá estar libre de materia en suspensión; siempre que sea posible deberá usarse agua potable.

2.8.4. FIBRAS DE POLIPROPILENO

Las fibras de acero y de polipropileno permiten soportar mayores esfuerzos y deformaciones. En el presente estudio se utilizarán fibras de polipropileno FIBROMAC® y fibras de acero Wirand®, ambas producidas por la empresa Maccaferri

Es una fibra multi-filamentosos obtenida de polipropileno virgen. Esta fibra está hecha para ser incluida en la mezcla del cemento con el fin de constituir un material homogéneo capaz de inhibir el agrietamiento por la contracción plástica.

Puede mezclarse y dispersarse homogéneamente a través del concreto para controlar la contracción de su plástico y en consecuencia, aumentar la compresión y evitar microgrietas.

El polipropileno ha sido uno de los plásticos con mayor crecimiento en los últimos años y se prevé que su consumo continúe creciendo más que el de los otros grandes

termoplásticos (PE, PS, PVC, PET). En 2005 la producción y el consumo de PP en la Unión Europea fueron de 9 y 8 millones de toneladas respectivamente.

Figura 2.4. Fibras de Polipropileno



Las fibras sintéticas no reemplazan el refuerzo estructural principal en el hormigón porque agregan poca o ninguna resistencia. Pero el refuerzo estructural no suministra sus beneficios hasta que el hormigón haya endurecido. Eso es por lo que algunos contratistas adicionan fibras sintéticas al hormigón como refuerzo secundario. A diferencia del refuerzo estructural, las fibras sintéticas proporcionan beneficios mientras el hormigón es aún plástico. Ellas también aumentan algunas de las propiedades del hormigón endurecido.

Los fabricantes de fibras sintéticas afirman que sus productos pueden ser usados para minimizar la fisuración por contracción plástica o por secado prematuro. Mezclando las fibras en el hormigón en las dosificaciones recomendadas resulta en millones de fibras dispersas uniformemente en la matriz del hormigón. Este refuerzo multidimensional supuestamente otorga al hormigón mayor capacidad de resistencia a tracción. Si se forman las fisuras por retracción, las fibras unen estas fisuras, ayudando a reducir su longitud y anchura.

2.8.5. FIBRAS DE ACERO

El uso de las fibras de acero en el concreto proporciona un mejor comportamiento de los elementos estructurales, debido a la reducción de la formación de fisuras, resultando en mejor calidad y mayor durabilidad de la obra.

Otras ventajas en relación a su uso es que sustituye, en algunas situaciones la armadura convencional, y elimina o disminuye costos en mano de obra para el armado y prácticamente no genera desperdicio de material, no exige grandes inversiones para el transporte y almacenamiento, su manipulación y aplicación son simples.

El módulo de elasticidad del acero es diez veces mayor que el del hormigón, su adherencia es bastante buena, su deformación en rotura es elevada y son fáciles de mezclar.

Su forma es de alambre, rectas o conformadas (en toda su longitud o en sus extremos), con diámetros que oscilan entre 0,25 y 1,1 mm, y longitudes entre 10 y 75 mm. Una propiedad que se ha comprobado muy influyente es la de su esbeltez (relación entre longitud y diámetro).

Aunque estas fibras son susceptibles de oxidarse si se encuentran cerca de la superficie de la pieza, la experiencia indica que ello sólo puede afectar a la estética, pero no a la resistencia. Los procesos de fabricación que se desarrollan para obtener las fibras de acero son el trefilado en frío, el corte de láminas o el rascado en caliente de bloques de acero.

Actualmente se comercializan bien en paquetes de fibras sueltas o en peines encolados, siendo este último caso muy favorable para la mezcla homogénea en la masa del hormigón.

Figura 2.5. Fibras de acero



2.9. VENTAJAS COMPARATIVAS

En la construcción de pavimentos de calles y carreteras existen grandes ventajas que poseen los pavimentos de hormigón. Las principales son las siguientes:

Costos Totales Inferiores: Al comparar diferentes alternativas de pavimentación en valor presente neto, generalmente el pavimento rígido resulta más barato. Esto se debe principalmente a que los costos de mantenimiento del pavimento rígido son mucho menores (usualmente sólo se requiere subsanar detalles de sellado de juntas a intervalos de 5 a 10 años). Por otra parte, el pavimento de hormigón tiene una vida útil más larga que el pavimento asfáltico.

Costo de Operación de la Carretera: Los pavimentos de hormigón al tener una superficie plana alargan la vida de los vehículos, evitando que se dañen y minimizando su mantenimiento.

El costo de consumo de combustible se reduce hasta en un 20% para camiones tipo tráiler. Costo Social de Mantenimiento: Para el recapado periódico de los pavimentos de asfalto, se requiere ejecutar desvíos que perjudican a vecinos y usuarios. En las construcciones con hormigón se minimizan éstos aspectos.

Facilidad de Construcción: Las plantas dosificadoras – mezcladoras de hormigón junto al uso de pavimentadoras deslizantes reducen significativamente los costos de

construcción. En pavimentos urbanos se puede usar equipos pequeños y encofrados fijos al alcance de cualquier contratista.

Durabilidad: Las superficies de hormigón duran más. Estadísticamente se ha demostrado que las carreteras de hormigón han soportado hasta tres veces su capacidad de carga de diseño y en pavimentos de aeropuertos, el doble. El hormigón incrementa su resistencia con el tiempo.

Resistencia: El hormigón resiste sin sufrir deterioros los derrames de gasolina y diésel, así como los efectos de la intemperie. Los pavimentos de hormigón transmiten bajas presiones al suelo de fundación.

Indeformabilidad: En las zonas de frenado y arranque de vehículos pesados, el hormigón no se deforma.

Textura: La superficie del pavimento de hormigón se puede hacer tan segura (antiderrapante) como se quiera, gracias a las diversas técnicas disponibles para darle textura, ya sea durante la construcción o una vez que el pavimento ha estado en servicio y requiera de una mayor resistencia al deslizamiento.

Seguridad: Por su planicidad y textura, El fenómeno del hidroplaneo de vehículos (deslizamiento en superficies mojadas), tiene menores posibilidades de producirse en superficies de hormigón.

Estética y seguridad peatonal: Para dirigir el tráfico peatonal y vehicular por rutas más seguras, el estampado o color en el hormigón permite marcas duraderas.

Economía en capa base: El hormigón reduce sustancialmente el espesor de la capa base, reduciendo el impacto ambiental y solicitando menores volúmenes de materiales pétreos. Esta cualidad también reduce los volúmenes de excavación.

Economía en Iluminación: La superficie clara de hormigón es tres veces más reflejante que la de asfalto. Se puede ahorrar hasta un 30% de energía y se brinda mayor

seguridad durante la noche, debido a que los faros de los vehículos, reflejan mejor la luz en el hormigón.

Rapidez de puesta en obra: Con el hormigón se pueden alcanzar altas resistencias en cuestión de horas. La resistencia del hormigón se puede predecir y controlar con mayor facilidad.

Limpieza: La superficie de hormigón es muy plana y fácil de limpiar.

Ahorro de energía: No se requiere calentar ninguno de los ingredientes para elaborar el hormigón (se ahorra combustibles). En la elaboración del concreto asfáltico, los agregados y el asfalto deben calentarse a temperaturas elevadas, manteniendo altas temperaturas dependiendo del tiempo de transporte y colocado.

Contaminación: La mezcla asfáltica siempre contamina al ser colocada, aunque si se trata de mezclas en caliente o en frío e independientemente de una carpeta o de un bacheo rutinario. El hormigón no contamina durante su colocación.

Reparaciones: El hormigón se repara fácilmente, bajo cualquier condición climática, se pueden emplear una gran cantidad de aditivos que permiten efectuar todo tipo de trabajos con gran rapidez y eficiencia.

Señalización: Todo tipo de marcas, pinturas y señalamientos duran más cuando se colocan sobre hormigón.

Aeropuertos: No existe sustituto a los pavimentos de hormigón para aeropuertos, debido a:

- Superior capacidad de carga.
- Resistencia de reserva para sobrecargas no previstas
- Resistencia a la deformación.
- No se pierden partículas que podrían ser dañinas para turbinas y partes de los aviones.

- Excelente visibilidad para aterrizajes.
- Textura superficial permanente para prevenir “acuaplaneo” y resbalamientos.
- Menor acumulación de calor sobre la superficie del pavimento.
- No se requieren recapamientos periódicos ni cerrar aeropuertos para reparaciones.
- Construcción rápida y económica.
- Planificación de larga vida.

La posibilidad de ejecutar recapamientos de hormigón sobre pavimentos de asfalto en aeropuertos se viene utilizando desde hace 60 años con excelentes resultados. Pavimentos de hormigón de endurecimiento rápido pueden ser construidos y abiertos al tráfico en 12 horas.

Tecnología: Existen equipos de pavimentación con hormigón muy diversos, sencillos y económicos con uso extensivo de mano de obra y de alto rendimiento para carreteras.

Investigación y Desarrollo: La investigación de temas referidos a la tecnología del hormigón constantemente obtiene nuevos resultados. El desarrollo de sobre capas ultra delgadas de hormigón de alta resistencia, reforzado con fibras sintéticas de entre 7,5 a 10 cm de espesor, colocadas sobre asfalto deteriorado, conforma un “paquete estructural compuesto” de excelentes características y a un precio menor al de un recapamiento asfáltico y por supuesto, con mayor durabilidad.

En conclusión, los pavimentos de hormigón son más durables, más versátiles, más económicos y por tanto más convenientes para el desarrollo nacional, motivo por el cual el IBCH se halla abocado a su estudio y divulgación.²

² http://www.ibch.com/index.php?option=com_content&view=article&id=12&Itemid=13

CAPITULO III
DESCRIPCION DE LOS MATERIALES

3. DESCRIPCION DE LOS MATERIALES

3.1. CEMENTO

El cemento es un conglomerante formado a partir de una mezcla de caliza y arcilla calcinadas y posteriormente molidas, que tiene la propiedad de endurecerse al contacto con el agua. Hasta este punto la molienda entre estas rocas es llamada Clinker, esta se convierte en cemento cuando se le agrega yeso, este le da la propiedad a esta mezcla para que pueda fraguar y endurecerse. Mezclado con agregados pétreos (grava y arena) y agua, crea una mezcla uniforme, maleable y plástica que fragua y se endurece, adquiriendo consistencia pétreo, denominada hormigón (en España, parte de Suramérica y el Caribe hispano) o concreto (en México, Centroamérica y parte de Suramérica). Su uso está muy generalizado en construcción e ingeniería civil.

3.1.1. CEMENTO PORTLAND

El cemento más utilizado como aglomerante para la preparación del hormigón es el cemento portland, producto que se obtiene por la pulverización del Clinker portland con la adición de una o más formas de yeso (sulfato de calcio). Se admite la adición de otros productos siempre que su inclusión no afecte las propiedades del cemento resultante. Todos los productos adicionales deben ser pulverizados conjuntamente con el Clinker. Cuando el cemento portland es mezclado con el agua, se obtiene un producto de características plásticas con propiedades adherentes que solidifica en algunas horas y endurece progresivamente durante un período de varias semanas hasta adquirir su resistencia característica. El proceso de solidificación se debe a un proceso químico llamado hidratación mineral.

Normativa

La calidad del cemento portland deberá estar de acuerdo con la norma ASTM C 150. En Europa debe estar de acuerdo con la norma EN 197-1. En España los cementos vienen regulados por la Instrucción para recepción de cementos RC-08, aprobados por el Real Decreto 956/2008 de 6 de junio.

- *Cemento portland Tipo IP.- Son los conglomerantes hidráulicos constituidos a base de Clinker en proporción no menor del 60% ni mayor al 94% en masa, de puzolana en proporción no menor del 6% ni mayor del 40% en masa y de otros de los componentes adicionales, en proporción comprendida entre el 0 al 5% en masa. Este núcleo no incluye ni el regulador de fraguado (que debe añadirse al mismo en la proporción adecuada), ni los eventuales aditivos.*³

3.1.2. CEMENTO UTILIZADO

En la presente investigación se empleara el cemento portland fabricado por la empresa Soboce de su Fabrica ‘El Puente, que abastece a la ciudad de Tarija, es un cemento portland IP-30

Especificaciones Técnicas

Norma técnica: Norma Boliviana NB-011

Tipo de cemento: IP-30

Presentación: bolsas de 50 Kg.

Características

Producto obtenido de la molienda conjunta de Clinker, yeso y puzolana.

Desprende menor calor de hidratación, lo que reduce la retracción térmica debido a la inclusión de puzolana.

Mayor trabajabilidad en morteros y revestimientos

4

³ Norma Boliviana NB011 – Cemento, definiciones, clasificación y especificaciones

⁴ https://www.soboce.com/producto_viacha.asp

3.1.3. ENSAYOS DEL CEMENTO

3.1.3.1 PESO ESPECÍFICO DEL CEMENTO ASTM C185

Este método tiene por objeto determinar el peso específico del cemento utilizando el frasco de Le Chatelier, que se llena de querosene hasta una marca, luego se introduce el cemento y se mide la nueva lectura producto del desplazamiento de volúmenes debido a la introducción del cemento en dicho frasco. Tabla 13.

Tabla 3.1 Peso específico del cemento

PESO ESPECIFICO DEL CEMENTO					
ENSAYO	N^a	Unidad	1	2	3
Peso específico del cemento	M/V=	gr/ml	3.2	3.047619	3.2
Peso específico promedio del cemento		gr/ml	3.149206349		

3.1.3.2. DETERMINACIÓN DE LA FINURA DEL CEMENTO POR MEDIO DE TAMIZ N°200

Este método de ensayo tiene por objeto la determinación de la finura del cemento, por medio del tamiz N° 200.

Tabla 3.2 Finura del cemento

FINURA DEL CEMENTO					
ENSAYO	N^a	Unidad	1	2	3
Finura del cemento	$F=(P/M)*100$	%	79.9	79.74	83.12
Finura del cemento promedio		%	80.92		

Fuente: Elaboracion Propia

3.2. AGUA

El agua, considerada como materia prima para la confección y el curado del hormigón debe cumplir con determinadas normas de calidad. Las normas para la calidad del agua son variables de país a país, y también pueden tener alguna variación según el tipo de cemento que se quiera mezclar. Las normas que se detallan a continuación son por lo tanto generales. Esta deberá ser limpia y fresca hasta donde sea posible y no deberá contener residuos de aceites, ácidos, sulfatos de magnesio, sodio y calcio (llamados álcalis blandos) sales, limo, materias orgánicas u otras sustancias dañinas y estará asimismo exenta de arcilla, lodo y algas.

En el presente estudio se utilizara el agua proveniente del sistema de agua potable de la ciudad de Tarija.

No se realizó ningún ensayo de laboratorio al agua utilizada en el trabajo de investigación

3.3. FIBRAS EN EL HORMIGÓN

3.3.1. FIBRAS DE ACERO

Las fibras empleadas en el presente trabajo de investigación son las fibras metálicas Wirand, son producidas por la empresa Maccaferri.

Las fibras de acero Wirand para refuerzo de concreto, son producidas a partir de hilos de acero de bajo tenor de carbono, que cuando son agregados al concreto, actúan como una armadura tridimensional, restringiendo la propagación de fisuras y aumentando la resistencia pos-fisuración del elemento estructural.

El uso de las fibras de acero Wirand® en el concreto proporciona un mejor comportamiento de los elementos estructurales, debido a la reducción de la formación de fisuras, resultando en mejor calidad y mayor durabilidad de la obra.

Otras ventajas en relación a su uso es que sustituye, en algunas situaciones la armadura convencional, y elimina o disminuye costos en mano de obra para el armado y

prácticamente no genera desperdicio de material, no exige grandes inversiones para el transporte y almacenamiento, su manipulación y aplicación son simples.

En resumen, el concreto reforzado con fibras metálicas Wirand® cuando son utilizadas correctamente, tendrá mejor resistencia a:

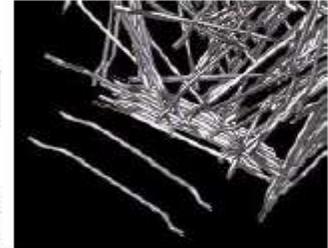
- Fisuración;
- Impacto:
- Punzonamiento:
- Cargas variables:
- Variaciones térmicas:

Tornándose el concreto fibroreforzado más dúctil y menos permeable.

Tabla 3.3. Características de la fibra de Acero

Wirand®

Fibras para Refuerzo de Hormigón



Características técnicas

Las fibras para refuerzo de hormigón Wirand® son producidas a partir de acero de bajo contenido de carbono, trefilado a frío. Las fibras de acero Wirand® cuando agregadas al hormigón, actúan como una armadura tridimensional que redistribuye las tensiones aplicadas en el elemento estructural aumentando su resistencia.

Propiedades Físicas		FF1	FF3	FF4	FS3N
Relación L/d (largo / diámetro)	-	50	67	60	44
Tolerancia del valor individual de la relación L/d	%	15	15	15	15
Tolerancia del valor medio de la relación L/d	%	7.5	7.5	7.5	7.5
Diámetro	mm	1.00	0.75	0.75	0.75
Tolerancia del valor individual del diámetro	%	10	10	10	10
Tolerancia del valor medio del diámetro	%	5	5	5	5
Largo	mm	50	50	60	33
Tolerancia del valor individual del largo	%	5	5	5	10
Tolerancia del valor medio del largo	%	5	5	5	5

Propiedades Mecánicas		FF1	FF3	FF4	FS3N
Resistencia a tracción del acero	MPa	>1100	>1100	>1100	>1100
Deformación en la ruptura	%	<4	<4	<4	<4
Módulo elástico	MPa	210000	210000	210000	210000

Aplicación		FF1	FF3	FF4	FS3N
Campos de aplicación indicados		pavimentos y pre-fabricados	pavimentos y pre-fabricados	pavimentos y pre-fabricados	hormigón lanzado
Número de fibras por kilo		3 244	5 767	4 806	8 736

Características del producto

Forma	Las fibras de acero Wirand® presentan un formato especial que garantizan el adherencia entre las fibras y el hormigón.
Producción	Las fibras de acero Wirand® son producidas, modeladas y cortadas a través del corte de alambres de acero con bajo contenido de carbono, conforme las normas: ASTM A 820/02, ASTM C 1116/03, DIN 1045, UNI 11037, EN 14869-1 y ABNT NBR 15530/07.
Presentación	Las fibras de acero Wirand® son acondicionadas en cajas o bolsas de 20 kg.

3.3.2 FIBRAS DE POLIPROPILENO

Las fibras empleadas en el presente trabajo de investigación son las fibras de polipropileno FIBROMAC, son producidas por la empresa Maccaferri.

FibroMac® 12

Especificaciones Técnicas

Descripción

Las fibras tipo multifilamento FibroMac® 12 son fibras sintéticas de filamento individual de polipropileno 100% vírgenes, diseñadas y fabricadas como refuerzo secundario para concreto premezclado y productos a base de cemento para la construcción. Las fibras tipo multifilamento proporcionan un método sencillo y económico para controlar el agrietamiento por contracción durante la etapa plástica del concreto mediante la introducción de millones de fibras individuales dentro del concreto. El refuerzo multidimensional proporcionado por la fibra crea resistencia a las fisuras en toda la masa del concreto.

Funciones

Inhibe el agrietamiento por asentamiento plástico.

Controla el agrietamiento por retracciones en estado plástico

Reduce la contracción del concreto en el estado plástico y/o endurecido, también reduce la permeabilidad.

Resiste las fuerzas de impacto.

Incrementa la durabilidad a los ciclos de hielo y deshielo.

Refuerzo duradero.

Propiedades de la fibra

La fibra FibroMac® 12 posee un tratamiento superficial, que permite una rápida y homogénea dispersión en el hormigón, creando una red multidireccional que aumenta la coherencia del material, evitando la fisuración del fraguado inicial.

Inerte y estable, la fibra FibroMac® 12 es insensible a la corrosión y a los agentes químicos.

Tabla 3.4. Características de la fibra de Polipropileno

FibroMac® 12		
Fibras para Refuerzo del Concreto		
Características técnicas		
FibroMac® 12 es una fibra de polipropileno producida a partir de multifilamentos, indicada para el refuerzo de concretos y morteros con la finalidad de generar un compuesto homogéneo y controlar la fisuración por retracción.		
Propiedades Físicas		
Dámetro	µm	18
Sección		Circular
Largo	mm	12
Alargamiento	%	80
Matéria-prima		polipropileno
Peso Específico	g/cm ³	0.91
Propiedades Mecánicas		
Temperatura de fusión	°C	160
Resistencia a la tracción	MPa (N/mm ²)	300
Módulo de Yang	MPa	3 000
Aplicación		
Campos de aplicación indicados		concreto proyectado, prefabricados, pavimentos, pisos, revestimientos.
Cantidad de fibras por kilo		300 000 000
Área superficial específica	m ² / kg	225
Dosaje (recomendación mínima)	g / m ³	600
Presentación		
Las fibras sintéticas FibroMac® 6 son acondicionadas en sacos hidrosolubles de 600g.		



3.4. MUESTRA

Se utilizara material granular chancado con un tamaño máximo nominal de 1 ½” y arena. Los agregados empleados fueron caracterizados, se determinó sus características propias. La norma boliviana NB598, regula el uso de los agregados para hormigones de acuerdo a su granulometría.

Los agregados deben estar limpios para su aplicación, se consideran limpios si están exentos de exceso de arcilla, limo, mica, materia orgánica, sales químicas y granos recubiertos.

El agregado fue adquirido de una planta chancadora en la comunidad de Tomatitas.

Fotografía 3.1. Agregado fino y grueso



3.4.1. CUARTEO DE LA MUESTRA

El total de la muestra fue sometida a cuarteo mecánico. Consiste en reducir las muestras de suelo a cantidades menores viendo que las mismas sean representativas y lo más homogéneas posible.

PROCEDIMIENTO

- Se arma el cuarteador.
- Con la ayuda de una pala se va vaciando la muestra en el cuarteador, tratando de distribuir la muestra.

Fotografía 3.2. Cuarteo



3.5. CARACTERIZACION DE LOS AGREGADOS.

3.5.1. GRANULOMETRIA DE LOS AGREGADOS ASTM C136

La Sociedad Estadounidense para Pruebas y Materiales (ASTM, por sus siglas en inglés) tiene a la ASTM C136 como un método para separar partículas de diferentes tamaños y grados mediante un sistema de tamices. La norma ASTM delinea el método como un documento definitivo para ser utilizado como un punto de referencia para los fabricantes de agregados en los Estados Unidos.

Procedimiento de análisis de tamices

El análisis de tamices requiere una columna de mallas de alambre. La malla del tamiz superior tiene las aberturas más grandes; las que están por debajo de estas las tienen más pequeñas y así sucesivamente, con el tamaño de las aberturas decrecientes cada vez. La base de la columna es un molde redondo, que se conoce como el receptor. Esta columna se coloca entonces dentro de un dispositivo de agitación que vibra el arreglo y su contenido. Esto hace más fácil filtrar la muestra a través de la columna. La muestra se añade a la criba superior y el dispositivo de agitación se enciende. Cuando el proceso se completa, los niveles de tamiz se analizan y los datos se recogen.

La Norma Boliviana NB598 (Áridos para morteros y hormigones – Granulometría), regula los límites en porcentaje que pasa por la serie de tamices empleados y la muestra cumplió con los límites que menciona la Norma Boliviana.

Fotografía 3.3. Proceso de Tamizado



Las tablas de granulometría son las siguientes:

Tabla 3.5. Granulometría del Agregado Fino

Tamiz N.B.	Porcentaje que pasa en peso			
	I	II	III	IV
5 mm	90 - 100	90 - 100	90 - 100	95 - 100
2,36 mm	60 - 95	75 - 100	85 - 100	95 - 100
1,18 mm	30 - 70	55 - 90	75 - 100	90 - 100
600 μ	15 - 34	35 - 59	60 - 79	80 - 100
300 μ	5 - 20	3 - 30	12 - 40	15 - 50
150 μ	0 - 10	0 - 10	0 - 10	0 - 10

Fuente: Norma Boliviana NB598

Tabla 3.6 Granulometría del árido grueso

Tamiz N.B.	Porcentaje que pasa en peso para ser considerado como árido de tamaño normal					Porcentaje que pasa en peso para ser considerado como árido grueso de tamaño regular				
	63 mm	40 mm	20 mm	10 mm	12,5 mm	5,5 mm	40 mm	20 mm	10 mm	12,5 mm
60 mm	100	-	-	-	-	-	100	-	-	-
43 mm	25 - 100	100	-	-	-	-	-	-	-	-
40 mm	0 - 30	65 - 100	100	-	-	-	95 - 100	-	-	-
20 mm	0 - 5	0 - 26	65 - 100	100	-	-	35 - 70	65 - 100	100	100
16 mm	-	-	-	85 - 100	100	-	-	-	90 - 100	-
12,5 mm	-	-	-	-	85 - 100	100	-	-	-	90 - 100
5,5 mm	0 - 5	1,5	0 - 20	0 - 30	0 - 45	65 - 100	15 - 30	25 - 50	30 - 70	40 - 80
4,75 mm	-	-	0 - 5	0 - 5	0 - 15	0 - 20	0 - 5	0 - 15	0 - 15	0 - 10
2,36 mm	-	-	-	-	-	0 - 5	-	-	-	-

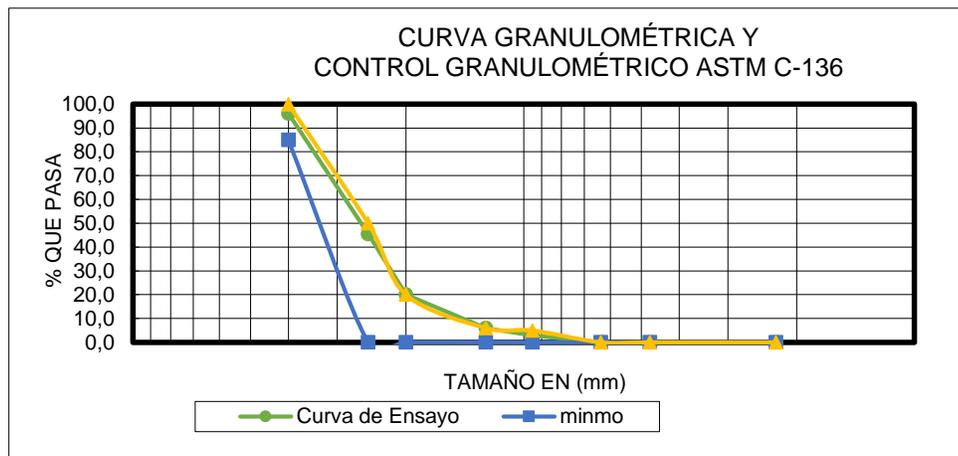
Fuente: Norma Boliviana NB598

A continuación se muestra la granulometría del agregado grueso de una muestra, es necesario mencionar que se realizaron 3 ensayos de granulometría en la muestra.

Tabla 3.7. GRANULOMETRÍA - AGREGADO GRUESO

Peso Total (gr.) =		2000					
Tamices	Tamaño (mm)	Peso Ret.	Retenido Acumulado		% Que pasa del total	% Que pasa s/g Especif.	
			(gr)	(%)			
1 1/2	40	77.9	77.90	3.90	96.1	85	100
1	25	1012.8	1090.70	54.54	45.5	-	-
3/4	20	508.4	1599.10	79.96	20.0	0	20
1/2	12.5	281.3	1880.40	94.02	6.0	-	-
3/8	9.5	62.1	1942.50	97.13	2.9	0	5
1/4	6.35	57.4	1999.90	100.00	0.0	-	-
Nº4	4.75	0	1999.90	100.00	0.0	-	-
Nº8	2.26	0	1999.90	100.00	0.0	-	-
BASE	0		1999.90	100.00	0.0		
SUMA =		1999.90					
PÉRDIDAS =		0.10					
MF =		7.81					

TAMAÑO MAX =	1 1/2"
---------------------	--------

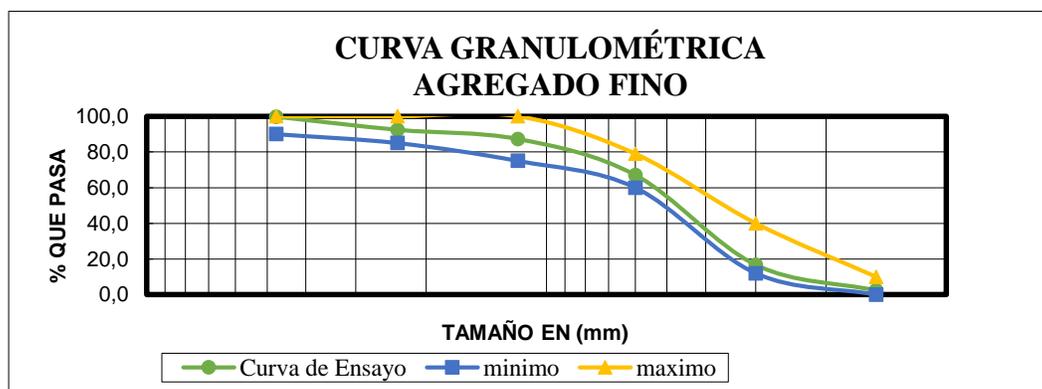


Fuente Elaboración Propia

Tabla 3.8. GRANULOMETRÍA - AGREGADO FINO

Material: Arena	Muestra: 2
Realizado por: Erland Gualberto Guerrero Salazar	

Peso Total (gr.)		500					
Tamices	tamaño (mm)	Peso Ret.	Ret. Acum	% Ret	% que pasa del total	Especificación	
Nº4	4.75	1.1	1.10	0.22	99.8	90	100
Nº8	2.36	36.7	37.80	7.56	92.4	85	100
Nº16	1.18	25.8	63.60	12.72	87.3	75	100
Nº40	0.6	100.8	164.40	32.88	67.1	60	79
Nº50	0.3	251.5	415.90	83.18	16.8	12	40
Nº100	0.15	72	487.90	97.58	2.4	0	10
BASE		12.1	500.00	100.00	0.0		
SUMA		500.0					
PÉRDIDAS		0.0					
MF =		2.34					



Fuente Elaboración Propia

Las tablas restantes se las presenta en anexos.

3.5.2. MATERIALES MÁS FINOS QUE EL TAMIZ #200 EN AGREGADOS MINERALELES POR LAVADO (ASTM C 117)

Este método de ensayo cubre la determinación de la cantidad de material más fino que el tamiz de 75µm (Nº. 200) en agregados por lavado. Partículas de arcilla y otras partículas que son dispersadas por el agua de lavado, así como materiales solubles al agua, serán removidas del agregado durante el ensayo.

Se incluyen dos procedimientos, el uno usando únicamente agua para la operación de lavado, y el otro incluyendo un agente de remojo que ayude a separar el material más fino que el tamiz de 75µm (Nº. 200) del material más grueso. A menos que sea especificado de otra manera, se utilizara el procedimiento sólo con agua.

Una muestra de agregado es lavada de una manera prescrita, usando agua corriente o agua con un agente de remojo, si está especificado. El agua de lavado decantada, conteniendo material suspendido y disuelto, se pasa a través del tamiz de 75µm (Nº. 200). La pérdida en masa resultante del tratamiento de lavado se calcula como un porcentaje de masa de la muestra original y se reporta como el porcentaje de material más fino que el tamiz 75µm (Nº. 200) por lavado.

Se obtuvo un resultado de:

Tabla 3.9. Porcentaje Material Fino

PROMEDIO	%	2,53
-----------------	----------	-------------

Fuente: Propia

3.5.3. MÉTODO DE ENSAYO ESTÁNDAR PARA DETERMINAR LA DENSIDAD EN MASA (PESO UNITARIO) E ÍNDICE DE HUECOS EN LOS AGREGADOS ASTM C29

Este método de ensayo permite determinar la densidad aparente de un agregado tanto en su condición compactada o suelta y calcular los vacíos entre las partículas en los agregados finos, gruesos o mezclas de agregados, basada en la misma determinación. Este método se aplica a los agregados que no exceden las 5 pulgs [125mm] de tamaño nominal.

Este método de ensayo se emplea a menudo para determinar los valores de densidad aparente, utilizados por varios métodos para seleccionar la dosificación de las mezclas de hormigón.

La densidad aparente también puede emplearse para determinar la relación masa/volumen para establecer las conversiones en los acuerdos de compra.

Los aparatos empleados para este método son:

- * Balanza: con una precisión de 0.1% de la carga de ensayo en cualquier punto dentro del rango de uso.
- * Pisón: una vara de acero, de 5/8 pulg de diámetro y aproximadamente 24 pulg de largo, con uno o ambos extremos redondeados.
- * Recipiente de medida: un recipiente cilíndrico de metal, de preferencia provisto de asas. La medida deberá tener la altura aproximadamente igual al diámetro, pero en ningún caso la altura podrá ser inferior al 80% ni superior al 150% del diámetro.
- * Pala de tamaño conveniente para llenar el recipiente con agregados.

Peso Unitario del Agregado Grueso

Tabla 3.10. Peso unitario del agregado grueso

PESO UNITARIO SUELTO	PROMEDIO	1,553 (gr/cm ³)
PESO UNITARIO COMPACTADO	PROMEDIO	1,670 (gr/cm ³)

Fuente: Propia

Peso Unitario del Agregado Fino

Tabla 3.11. Peso unitario del agregado fino

PESO UNITARIO SUELTO	PROMEDIO	1,12 (gr/cm ³)
PESO UNITARIO COMPACTADO	PROMEDIO	1,50 (gr/cm ³)

Fuente: Propia

Fotografía 3.4. Proceso de laboratorio Peso Unitario A. Grueso



Fotografía 3.5. Proceso de laboratorio Peso Unitario A. Fino.



3.5.4. ASTM C 127 PESO ESPECIFICO Y ABSORCIÓN DE AGREGADO GRUESO

La norma ASTM C-127 describe la determinación de la densidad promedio de una cantidad de partículas de agregado fino (no incluye el volumen de los vacíos entre las partículas), la densidad relativa (gravedad específica), y la absorción de agregados finos.

En el laboratorio se realizó un procedimiento para agregado fino proveniente de material de río, dicho material corresponde a roca triturada. Es fundamental que el agregado sea de una buena calidad para proporcionarle a la mezcla de concreto, la resistencia y durabilidad que requiera en la obra. El peso específico de los agregados permite conocer los volúmenes compactados del agregado con el fin de dosificar morteros u hormigones. Relacionados con el peso unitario permite conocer la compacidad del agregado. La absorción está íntimamente relacionada con la porosidad interna de los granos del agregado y con la permeabilidad de los morteros y hormigones. Se obtuvieron los siguientes resultados:

Tabla 3.12 Pesos específicos y % de absorción

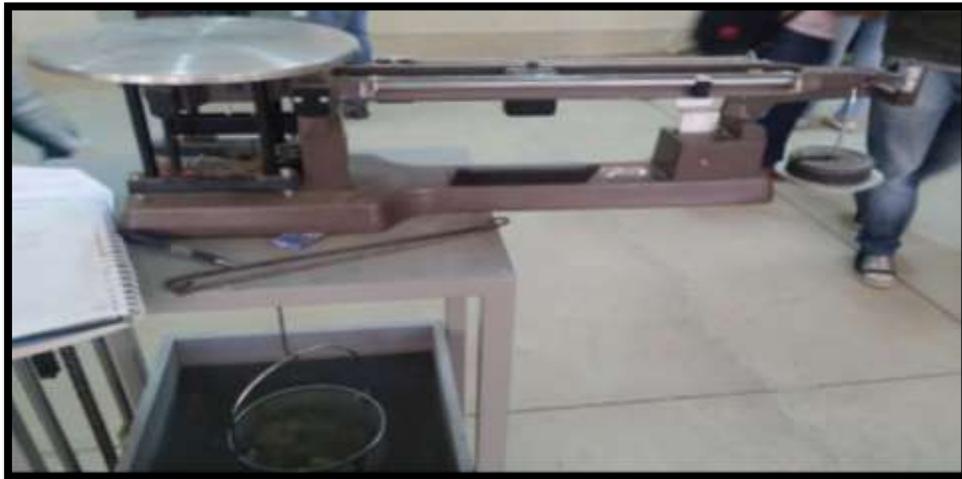
PESO ESPECÍFICO A GRANEL (gr/cm3)	PESO ESPECÍFICO SATURADO CON SUP. SECA (gr/cm3)	PESO ESPECÍFICO APARENTE (gr/cm3)	% DE ABSORCIÓN
2,52	2,55	2,61	1,30
2,55	2,58	2,61	0,91
2,53	2,56	2,61	1,20
2,54	2,56	2,61	1,14

Fuente: Elaboración Propia

Fotografía 3.6. Agregado grueso para práctica de peso específico



Fotografía 3.7. Balanza



3.5.5. PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN DEL AGREGADO FINO (ASTM C128)

Este método establece los procesos para la determinación del peso específico y absorción del agregado fino.

El peso específico puede ser expresado como peso específico de la masa, el peso específico de la masa, o peso específico aparente. El peso específico de la masa y la

absorción se obtienen con agregados previamente remojados en agua por 24 horas. Este método no puede ser usado con agregados livianos.

Se obtuvieron los siguientes resultados:

Tabla 3.13 Peso Específico Y Absorción Del Agregado Fino

P. E.	P. E.	P. E.	%
A GRANEL (gr/cm3)	SATURADO CON SUP. SECA (gr/cm3)	APARENTE (gr/cm3)	DE ABSORCIÓN
2,45	2,53	2,67	3,48
	2,53	2,64	2,82
2,43	2,51	2,64	3,19
2,45	2,52	2,65	3,16

Fuente: Propia

Fotografía 3.8 Fotografías De La Practica De Peso Específico Y Absorción Del Agregado Fino



3.5.6. ENSAYO DEL DESGASTE MEDIANTE LA MAQUINA DE LOS ANGELES (ASTM C 131)

Este método establece el procedimiento para determinar la resistencia al desgaste de los áridos mayores a 2.5 mm, mediante la máquina de los Ángeles.

Tabla 3.14 Porcentaje de desgaste

%DE DESGASTE =	23,85	23,47	23,59
-----------------------	-------	-------	-------

PROMEDIO % DE DESGASTE=	23,64
------------------------------------	-------

Fuente: Elaboracion Propia

Fotografía 3.9 Ensayo del desgaste de los angeles del agregado grueso



3.6. DISEÑO DE MEZCLAS

3.6.1. DOSIFICACION DEL HORMIGON PARA PAVIMENTO

Los métodos de dosificación de hormigones tienen por finalidad encontrar las proporciones en que hay que mezclar a los diferentes componentes de los mismos para conseguir mezclas que posean determinadas características de consistencia, compacidad, resistencia, durabilidad, etc.

El cálculo teórico de las proporciones en que hay que mezclar a los componentes no exime de la comprobación experimental para la puesta a punto de la composición a adoptar. Esto es debido a que ningún método de dosificación puede tener en cuenta la gran cantidad de factores que influyen en las propiedades del hormigón a conseguir.

No existe un método único de dosificación, sino que, dependiendo de las condiciones que deba reunir el hormigón, el proyectista podrá elegir uno entre varios de los muchos existentes y los resultados que se consigan con él serán buenos cuando éste se haya elegido convenientemente y se hayan realizado las correcciones oportunas mediante masas de prueba.

Para la presente investigación se realizara la dosificación por el método ACI 211, para todas las mezclas de hormigón que son:

- Hormigón convencional
- Hormigón Reforzado con Fibras de Acero
- Hormigón Reforzado con Fibras de Polipropileno (Sintéticas)

3.6.2. DOSIFICACION DEL HORMIGON CONVENCIONAL PARA PAVIMENTO

El método ACI es un método en el que se parte de la resistencia que debe tener el hormigón, siendo adecuado para cualquier tipo de obra realizada con este material. Se quiere llegar a una resistencia de compresión 250kg/cm^2 , para pavimento rígido.

Tabla 3.15. Dosificación para concreto convencional

PESOS SECOS DE LOS INGREDIENTES POR (m³) DE CONCRETO	
Ingrediente	Peso Seco kg/m³
Cemento	361,90
Agua	152,00
Grava	1237,47
Arena	602,50

Fuente: Elaboracion Propia

Para realizar la comparación entre este hormigón convencional y los fibroreforzados no se variara esta dosificación en cantidades de sus ingredientes, solamente se le

agregara las fibras en 3 distintas proporciones para cada tipo de fibra. Y así observar que cambios se producen en la mezcla y en su resistencia.

Tabla 3.16 Dosificación para concreto reforzado

PESOS SECOS DE LOS INGREDIENTES POR (m3) DE CONCRETO			
Ingrediente	Peso Seco		kg/m3
Cemento	361,90		
Agua	152,00		
Grava	1237,47		
Arena	602,50		
Fibras de Acero	1	17,5	kg/m3
	2	25	kg/m3
	3	32,5	kg/m3
Fibras de Polipropileno	1	0,6	kg/m3
	2	1,8	kg/m3
	3	3	kg/m3

Fuente: Elaboracion Propia

3.8.3. ELABORACION DEL HORMIGON

El mezclado del concreto tiene por finalidad cubrir la superficie de los agregados con la pasta de cemento, produciendo una masa homogénea. El mezclado a máquina, en las denominadas mezcladoras, asegura concretos uniformes de manera económica. Las mezcladoras están constituidas, fundamentalmente, por un recipiente metálico denominado tambor o cuba, provisto de paletas en su interior. La mezcla se efectúa, cuando cada una de las partes del concreto es elevada, vuelta a vuelta, por las paletas durante la rotación del tambor, de manera que en un cierto punto, en cada revolución, son vertidas hacia la parte inferior para mezclarse con las otras porciones, hasta constituir una masa homogénea.

Secuencia en el mezclado.

- a) Se preparó la mezcladora, asegurándose que se encuentra limpia.
- b) Los moldes prismáticos, fueron armados y se les paso con ayuda de una brocha aceite negro para que se facilite el desencofrado.
- c) Se pesaron los agregados en estado húmedo y se realizó la corrección por humedad, se pesó el cemento y se midió en litros la cantidad de agua.
- d) En la mezcladora primero se agregó el agregado grueso, después el fino, se empezó con el mezclado y se fue agregando en pequeña proporción el agua, finalmente se agrega el cemento y se termina de agregar el agua.
- e) Se midió la trabajabilidad del hormigón con ayuda del cono de Abrams.
- f) La mezcla fue vertida de la mezcladora a una carretilla y con ayuda de una pala se procedió a llenar los moldes prismáticos (vigas), se lo realizo por franjas hasta su terceras partes y se lo apisono para evitar la formación de vacíos, finalmente se enraso.
- g) Se las dejo fraguando 24 horas para posteriormente desencofrarlas y sumergirlas para someterlas al curado por 28 días

Para le hormigón reforzado se realizó la misma secuencia de pasos con la inclusión de fibras.

La inclusión de las fibras se debe realizar con mucha calma para poder garantizar la buena distribución de estas en la mezcla.

Se realizaron un número de muestras (vigas), por cada tipo de hormigón que se comparara haciendo un total de 35 vigas.

Fotografía 3.10 Realización del hormigon reforzado con fibras de acero



Fotografía 3.11 Realización del hormigon reforzado con fibras de polipropileno



Fotografía 3.12 Vaciado de las vigas



3.6.4. ENSAYO EN EL HORMIGON FRESCO

El hormigón fresco es sometido a pruebas de trabajabilidad, esto se lo realiza con ayuda del cono de Abrams, una varilla apisonadora, un enrazador y un flexometro.

Se vierte la mezcla de hormigón dentro del cono progresivamente y apisonando en 3 niveles, una vez lleno el cono se lo enraza, seguidamente se debe retirar el cono en sentido vertical hacia arriba y observar el asentamiento sufrido, esto se lo mide desde su punto superior inicial (con el cono) hasta el punto superior final (retirado el cono).

Esta diferencia encontrada es el asentamiento, este asentamiento tiene límites que son determinados por las características del uso que se le dará al hormigón.

Fotografía 3.13 Ensayo del cono de Abrams



A continuacion se presenta una tabla resumen con los asentamientos, de cada tipo de mezcla de hormigon elaborada.

Tabla 3.17. Resumen de Asentamientos

Hormigón	Asentamiento (cm)
H.C	3.5
HRFA 25kg/m ³	2.5
HRFA 17,5kg/m ³	3
HRFA 32,5kg/m ³	1.3
HRFP 3kg/m ³	1.5
HRFP 0,6kg/m ³	3.3
HRFP 1,8kg/m ³	2.7

Fuente: Elaboracion Propia

3.6.5 ENSAYO EN EL HORMIGON ENDURECIDO

3.6.5.1. RESISTENCIA A LA FLEXIÓN DE VIGAS DE CONCRETO (CARGA A LOS TERCIOS)

Este método de ensayo cubre la determinación del esfuerzo de flexión del concreto utilizando una viga simple con carga en los tercios medios.

Los resultados se calculan y se reportan como el módulo de ruptura (fr). El esfuerzo determinado puede variar cuando hay diferencias en el tamaño del espécimen, la preparación, la condición de humedad, el curado o cuando la viga ha sido moldeada o cortada a un

tamaño específico. Los resultados de este método de ensayo pueden ser utilizados para determinar el cumplimiento de especificaciones o como una base para las operaciones de dosificación, de mezclado y colocación. Este ensayo se utiliza en concretos para la construcción de losas y pavimentos.

Secuencia de pasos seguidos para realizar el ensayo:

- a) Se tomó el peso de cada viga.

Fotografía 3.14 Pesado de vigas



- b) Se cargó la viga en el equipo de Ruptura a Flexión.

Fotografía 3.15 Rotura de las vigas



- c) Se programó el equipo, de acuerdo a los datos de la viga como ser su peso, longitud, edad y la velocidad de fuerza que hará el equipo; la velocidad y edad no variaron, todas las vigas tenían una edad de 28 días.
- d) Todas las vigas se sometieron a la prueba de resistencia a flexo tracción, y se registraron los valores de resistencia.

Fotografía 3.16 Resultados de la rotura de las vigas



Fotografía 3.17 Vigas después del ensayo de flexotracción



En la siguiente tabla se muestra el resumen de resultados del ensayo a flexotraccion, como son la rension de rotura y la resistencia.

Tabla 3.18. Resumen de Tensiones de rotura y Resistencias de las vigas

Muestra	Ensayo a Flexotracción de las Muestras de Hormigón													
	H. Con		H. reforzado con fibras de acero						H. R. con fibras de polipropileno					
			25Kg/cm ³		17.5 Kg/cm ³		32.5kg/cm ³		3kg/cm ³		0.6kg/cm ³		1.8kg/cm ³	
	TR(kg/cm ²)	R(MPA)	TR(kg/cm ²)	R(MPA)	TR(kg/cm ²)	R(MPA)	TR(kg/cm ²)	R(MPA)	TR(kg/cm ²)	R(MPA)	TR(kg/cm ²)	R(MPA)	TR(kg/cm ²)	R(MPA)
1	38.75	3.8	49.9	4.89	39.84	3.91	49.9	4.89	38.21	3.75	35.49	3.48	36.98	3.63
2	33.58	3.29	45.28	4.44	42.28	4.15	47.45	4.65	38.61	3.79	36.44	3.57	36.3	3.56
3	35.62	3.49	48.67	4.77	41.47	4.07	48.67	4.77	37.93	3.72	36.71	3.6	37.12	3.64
4	34.4	3.37	48.4	4.75	39.02	3.83	46.91	4.6	39.02	3.83	35.76	3.51	36.71	3.6
5	37.53	3.68	49.49	4.85	40.24	3.95	50.85	4.99	36.57	3.59	35.49	3.48	36.57	3.59

Fuente: Elaboración Propia

3.7. ENSAYO DE CBR EN TERRENO DE DISEÑO

El ensayo CBR (Ensayo de relación de Soporte de California) mide la resistencia al esfuerzo cortante de un suelo y para poder evaluar la calidad del terreno para subrasante, sub base y base para pavimentos.

Se efectúa bajo condiciones controladas de humedad y densidad.

Este procedimiento mide la carga necesaria para penetrar un pistón de dimensiones determinadas a una velocidad previamente fijada en una muestra compactada de suelo después de haberla sumergido en agua durante cuatro días a la saturación más desfavorable y luego de haber medido su hinchamiento.

La muestra se sumerge para poder prever la hipotética situación de acumulación de humedad en el suelo después de la construcción.

Se realizó tres pruebas de CBR en la comunidad de San Andrés, para luego poder realizar el diseño de la carpeta de rodadura (losa de pavimento).

Dando como resultado los siguientes CBR.

Tabla 3.19 Ensayo de CBR

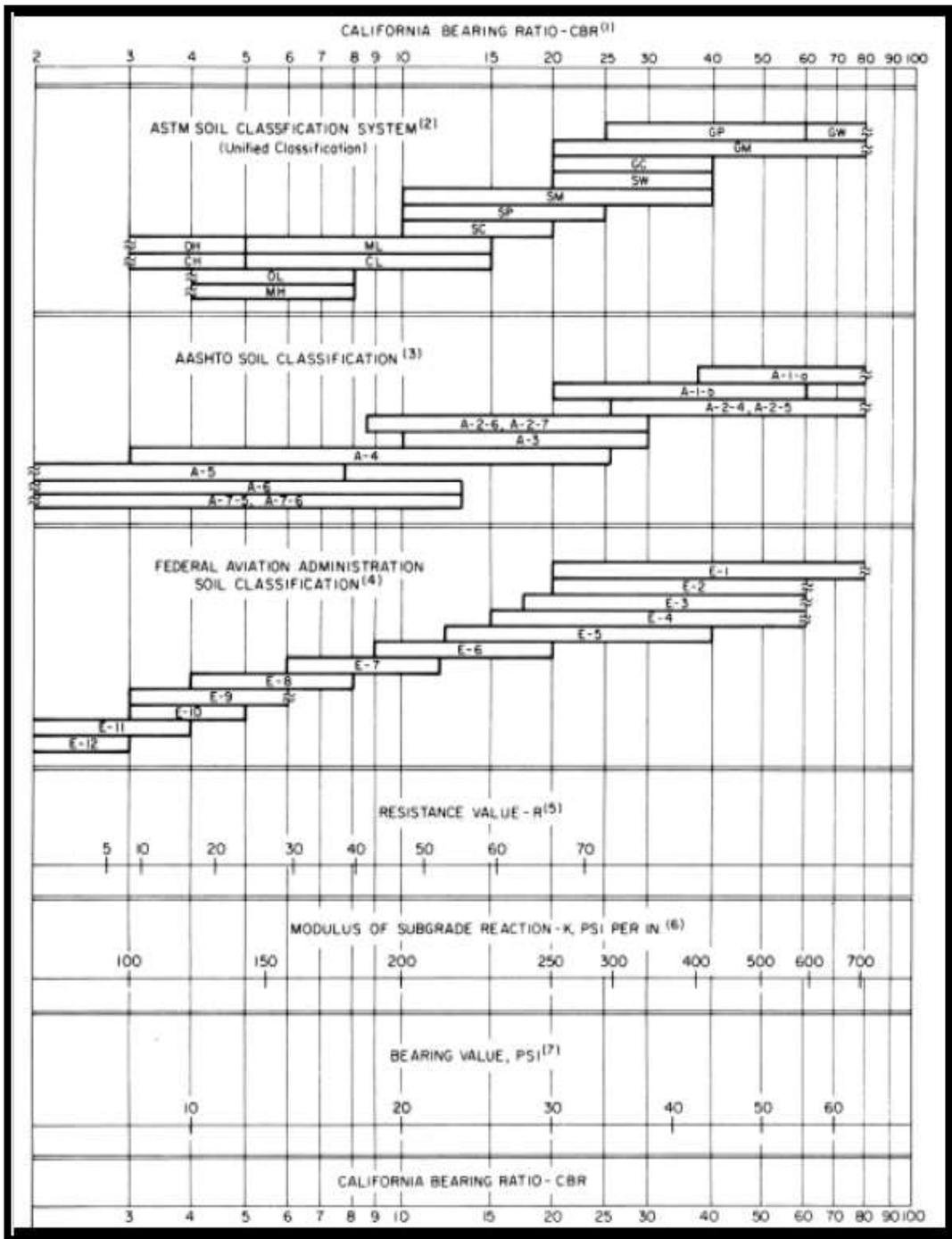
CBR			
Punto	P 1	P 2	P 2
CBR	29 %	24%	20%

Fuente: Elaboración Propia

Para realizar el diseño de espesor de la losa, se tomara el valor medio de los resultados obtenidos.

$$\text{CBR} = 24.33 \%$$

Figura 3.2 Relación entre Clasificación SUCS, CBR y Modulo de Subrasante “k”



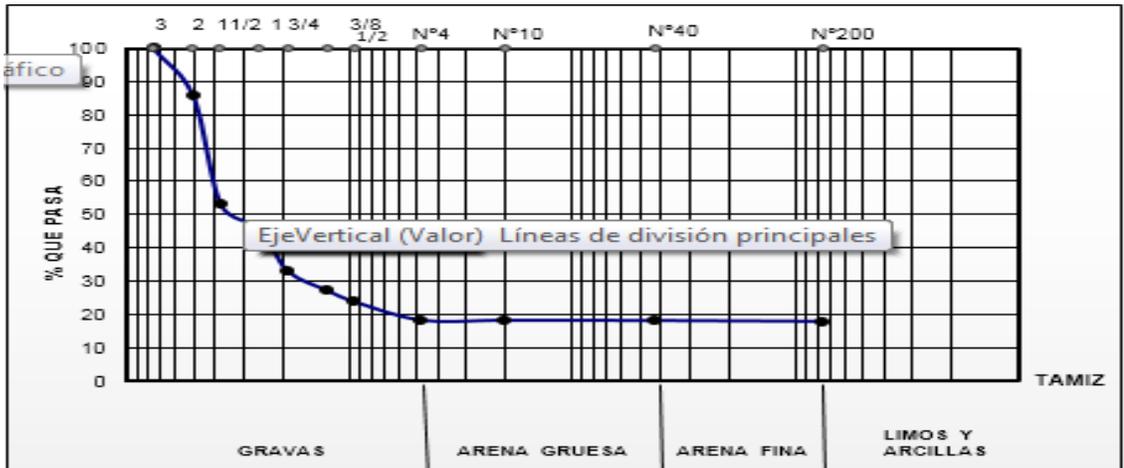
Fuente: ACI 360-06

La granulometría fue la siguiente:

Tabla 3.20 Granulometría

Procedencia: San Andrés

Peso Total (gr.)			3000	A.S.T.M.	
Tamices	Tamaño (mm)	Peso Ret. (gr)	Ret. Acum (gr)	% Ret	% Que Pasa del Total
2 1/2"	75	401.37	0.00	0.00	100.00
2"	50	429.08	429.08	14.30	85.70
1 1/2"	37.50	985.88	1414.96	47.17	52.83
1"	25.00	211.12	1626.08	54.20	45.80
3/4"	19.00	381.13	2007.21	66.91	33.09
1/2"	12.50	182.26	2189.47	72.98	27.02
3/8"	9.50	98.35	2287.82	76.26	23.74
Nº4	4.75	168.24	2456.06	81.87	18.13
Nº10	2.00	0.74	2456.80	81.89	18.11
Nº40	0.425	1.86	2458.66	81.96	18.04
Nº200	0.075	7.57	2466.23	82.21	17.79



Fuente: Elaboración Propia

Se realizó la caracterización de la subrasante, dando la siguiente clasificación del suelo:

Tabla 3.21 Clasificación de la subrasante

CLASIFICACIÓN DEL SUELO		DESCRIPCIÓN
SUCS:	GM	Gravas Limosas, Mezclas de grava, arena y limo.
AASHTO:	A-1-b(0)	

Fuente: Elaboración Propia

3.10 DISEÑO DE ESPESOR DE LA CAPA BASE

La estructura del pavimento rígido está formada por un sistema de varias capas, por lo cual debe dimensionarse cada una de ellas considerando sus características propias.

Para este fin se utiliza el siguiente Abaco que permite obtener los espesores de la capa de la capa base.

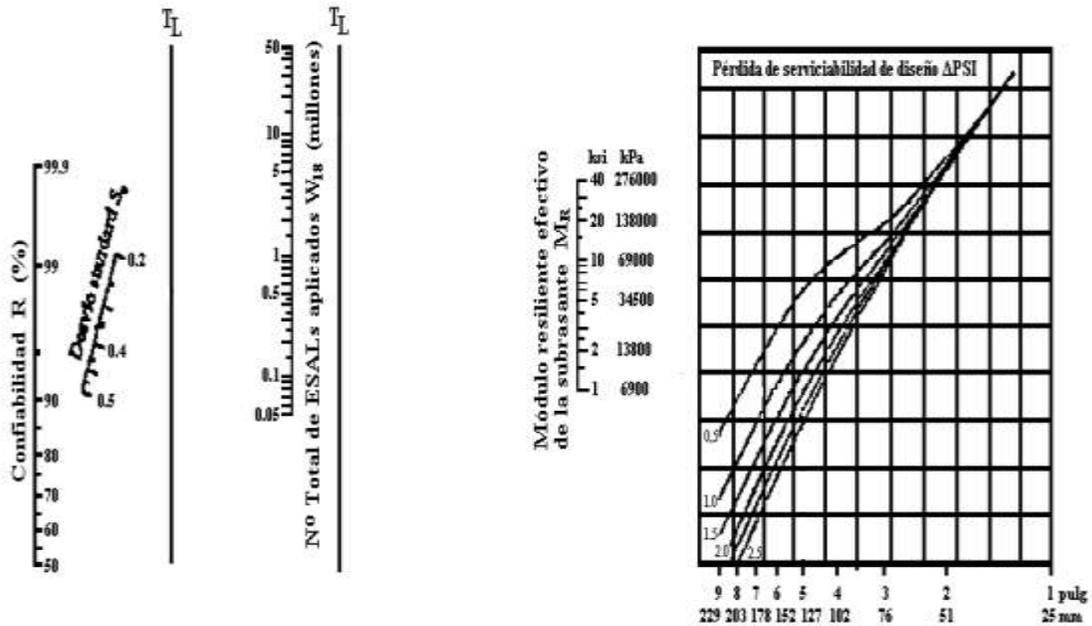


Tabla 3.22 Datos necesarios Para Base

W18=	0,91900931x10^6	ESALs
------	------------------------	-------

R=	80	Confiabilidad
So=	0.4	Desviación estándar
Mr=	48660	Módulo Resiliente
APSI=	2	Perdida de serviciabilidad
ESPESOR DE LA CAPA BASE		3.8 Plg

Fuente: Propia

El proceso de cálculo de la capa base se presentan en anexos

3.8. DISEÑO DE ESPESOR DE LA CAPA DE PAVIMENTO RIGIDO

Existen diferentes metodologías para el diseño del pavimento rígido, las cuales buscan el dimensionamiento óptimo del espesor de la estructura basado en las diferentes solicitaciones. Para realizar la comparación de los espesores del pavimento reforzado con fibras de acero, con fibras de polipropileno y el convencional se utilizara el método AASTHO 93.

3.8.1 DISEÑO DE ESPESOR DEL PAVIMENTO CONVENCIONAL

Se ha elegido el método AASHTO, porque a diferencia de otros métodos, éste método introduce el concepto de serviciabilidad en el diseño de pavimentos como una medida de su capacidad para brindar una superficie lisa y suave al usuario.

Un pavimento de concreto o pavimento rígido consiste básicamente en losas de concreto simple o reforzado, apoyadas directamente sobre una capa base o sub-base. La losa de concreto, de alta resistencia a la flexión y al desgaste, funciona como una supercarpeta y base, simultáneamente. Por su alta rigidez y alto módulo elástico, tiene un comportamiento de elemento estructural de viga. Absorbe prácticamente toda la carga.

El diseño del pavimento rígido involucra el análisis de diversos factores: tráfico, drenaje y clima, características de los suelos, capacidad de transferencia de carga, nivel de serviciabilidad deseado, y el grado de confiabilidad al que se desea efectuar el diseño

acorde con el grado de importancia de la carretera. Todos estos factores son necesarios para predecir un comportamiento confiable de la estructura del pavimento y evitar que el daño del pavimento alcance el nivel de colapso durante su vida en servicio.

La ecuación fundamental AASHTO para el diseño de pavimentos rígidos es:

$$\text{Log } W_{18} = Z_R S_0 + 7.35 \log(D+1) - 0.06 + \frac{\log\left(\frac{\Delta\text{PSI}}{4.5-1.5}\right)}{\frac{1.624 \times 10^{-7}}{(D+1)^{1.4}}} + (4.22 - 0.32 P_t) \log \left[\frac{S'_c C_d (D^{3.75} - 1.132)}{215.63 J \left[D^{0.75} - \frac{18.42}{\left[\frac{E_c}{k} \right]^{0.25}} \right]} \right]$$

W18 = Tránsito estimado para el periodo de vida útil en ejes equivalentes de 18 kips (80 kN) “ESALs”

ZR = Factor de desviación Normal para el nivel de confiabilidad R

S0 = Desvío estándar de todas las variables

D = Espesor de la losa en pulgadas

ΔPSI = Pérdida de serviciabilidad prevista en el diseño

Pt = Serviciabilidad final

S'C = Módulo de rotura del hormigón en (psi)

J = Coeficiente de transferencia de cargas

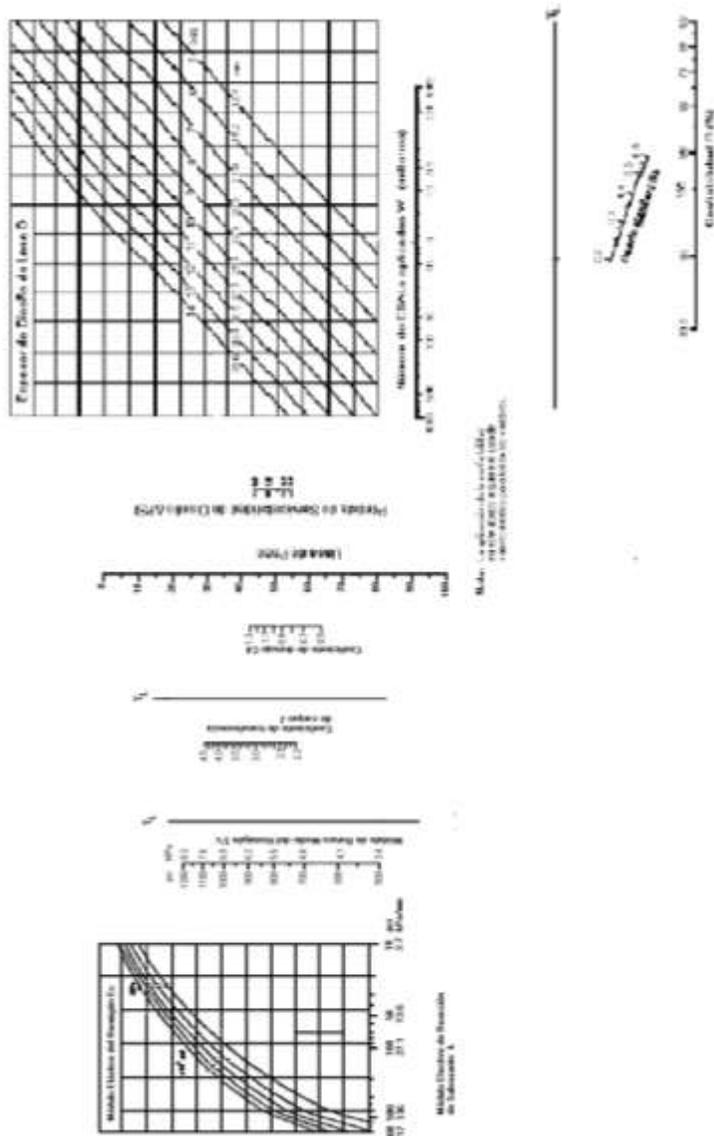
Cd = Coeficiente de drenaje

EC = Módulo de elasticidad del hormigón en (psi)

K = Módulo efectivo de reacción de la subrasante (psi/pulg)

El espesor de losa, que corresponde a las condiciones de diseño, se puede calcular resolviendo la ecuación planteada por el método, o mediante el uso del ábaco que proporciona la AASHTO, o mediante programas de computación.

ABACO DE DISEÑO DE ESPESOR DE LA CARPETA DE RODADURA METODO ASTHO



Calculando todos los factores de diseño (ver ANEXOS) se puede determinar el espesor de la capa del pavimento convencional, que es el siguiente:

$$D = 5.3 \text{ plg} = 13.5 \text{ cm}$$

El diseño del espesor de la base se realizó según la AASTHO (VER ANEXOS)

$$D = 3.8 \text{ plg} \approx 10 \text{ cm}$$



3.9 DISEÑO DE ARMADURA DE REFUERZO EN PAVIMENTOS

El objetivo de la inclusión de armadura en una losa de pavimento es controlar la aparición de fisuras, tanto en su abertura y en las distancias de separación entre ellas, para conseguir que el pavimento se comporte como una unidad estructural. Las armaduras pueden estar formadas por barras o mallas soldadas.

VARIABLES PARA EL CÁLCULO DE ARMADURAS EN PAVIMENTOS CON JUNTAS

a. Longitud De Losa

Es la distancia de separación entre las juntas transversales. El valor numérico de esta longitud afecta el comportamiento de los pavimentos de hormigón armado, en mayor grado mientras mayor sea la longitud.

b. Tensiones De Trabajo

La tensión de trabajo recomendada para las barras de acero [f_s] es el 75% de la tensión de fluencia, por ejemplo para un acero grado 40, la tensión admisible es de 207 Mpa (30000 psi) y para un acero de grado 60 es de 307 MPa (45000 psi).

c. Factor De Fricción

Representa la resistencia friccional entre la base inferior de la losa y la superficie superior de la sub-base o subrasante (si no tiene sub-base). Esta resistencia se valora a través del factor de fricción “F”, que fue obtenido considerando la teoría de fricción de un cuerpo sobre otro y se utiliza para determinar el porcentaje de acero requerido, mediante la ecuación siguiente:

$$P_s = \left[\frac{L \cdot F}{2 \cdot f_s} \right] \cdot 100$$

Donde:

P_s = % de armadura requerida

L = Longitud de losa

F = Factor de fricción

f_s = Tensión de trabajo del acero (psi)

Para unidades métricas la ecuación se transforma en:

$$P_s = \left[\frac{\gamma_H \cdot L \cdot F}{2 \cdot f_s} \right] \cdot 100$$

Donde:

γH = Peso específico del hormigón $\approx 22,5 \text{ kN/m}^3$

L = Longitud de losa en metros

F_s = Tensión de trabajo del acero en Kpa

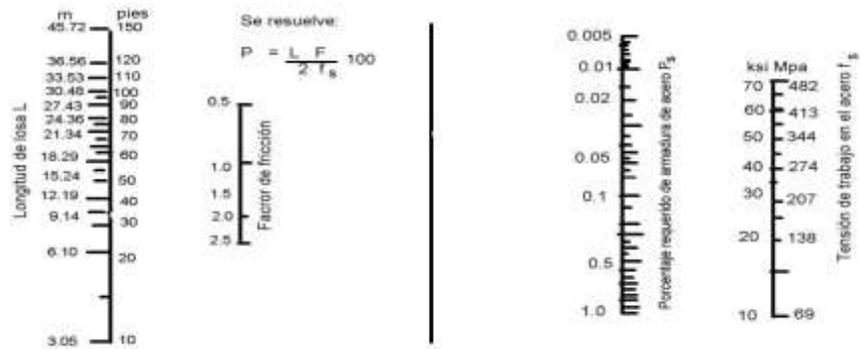
El factor de fricción representa la fuerza requerida, en relación al peso de la losa, para hacer deslizar la losa sobre la sub-base. Por ejemplo, $F = 1,5$ significa que se requiere una fuerza de 1,5 veces de peso de la losa, para deslizar la misma sobre la sub-base.

Tabla 3.23 Factor de fricción

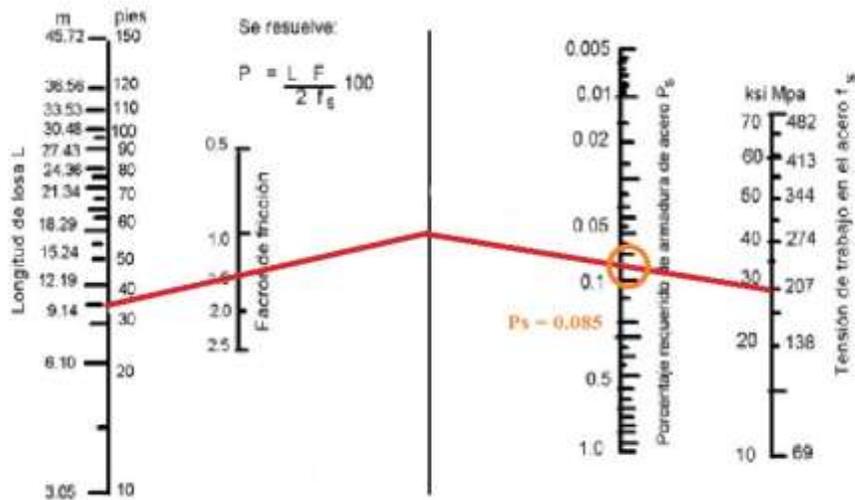
Tipo de Material bajo la Losa	Factor de Fricción “F”
Tratamiento superficial	2,2
Estabilización con cal	1,8
Estabilización con asfalto	1,8
Estabilización con cemento	1,8
Grava de río	1,5
Piedra triturada	1,5
Arenisca	1,2
Subrasante natural	0,9

Fuente: AASHTO, 1993

El ábaco de la figura se utiliza para el cálculo tanto de la armadura longitudinal, como para la armadura transversal de pavimentos de hormigón armado con juntas, y también para el cálculo de la armadura transversal en pavimentos de hormigón armado continuos.



De manera práctica se asumirá una longitud de losa de 36 pies, un factor de fricción $F=1,5$, tensión de trabajo del acero $f_s=30000\text{psi}$.



Dando como resultado un porcentaje de Armadura de $P_s = 0.065$

DISEÑO DE ARMADURA TRANSVERSAL

Determinación del número de barras requeridas

Longitud de losa 36 pies = 10.98 m = 432 plg

Ancho de losa 4m = 157.5 plg

P_s mínimo de acero = 0.065

Min= cantidad mínima requerida de acero para barras

D= espesor de la losa de hormigón 15.3cm= 6.02plg

ϕ = 1/2 plg diámetro de barras de acero

$$N_{\text{mín}} = 0,01273 \cdot P_{\text{mín}} \cdot W_s \cdot \left(\frac{D}{\phi^2} \right)$$

- **Nro. Mínimo de barras transversales**

$$N_{\text{min}} = 0.01273 * 0.085 * 432 * (6.02 / 0.5^2) = 11.25 \text{ barras}$$

N min de barras 11 de diámetro 1/2 plg transversal

- **Nro. de Barras longitudinales**

$$N_{\text{min}} = 0.01273 * 0.085 * 157.5 * (6.02 / 0.5^2) = 4.1 \text{ barras}$$

N min de barras 4 de diámetro 1/2 plg longitudinal

3.8.2 DISEÑO DE ESPESOR DEL PAVIMENTO REFORZADO CON FIBRAS DE ACERO

Para determinar el espesor del pavimento reforzado con fibras de acero, se tomaron en cuenta los mismos parámetros que se consideraron en el diseño del espesor del pavimento convencional, excepto el módulo de elasticidad del hormigón y resistencia media del concreto.

Ver en ANEXOS el procedimiento.

Teniendo todos los factores de diseño se puede determinar el espesor de la capa del pavimento reforzado con fibras de acero, que es el siguiente:

- Espesor de pavimento reforzado con fibras de acero (17.5 kg/m³)

$$D = 5 \text{ plg} = 12.7 \text{ cm}$$



- Espesor de pavimento reforzado con fibras de acero (25 kg/m³)

$$D = 4.37 \text{ plg} = 11.1 \text{ cm}$$



- Espesor de pavimento reforzado con fibras de acero (32.5 kg/m³)

$$D = 4.33 \text{ plg} = 11 \text{ cm}$$



3.8.3 DISEÑO DE ESPESOR DEL PAVIMENTO REFORZADO CON FIBRAS DE POLIPROPILENO

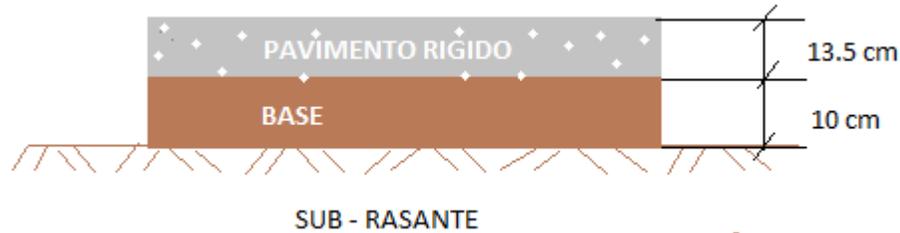
Para determinar el espesor del pavimento reforzado con fibras de polipropileno, se tomaron en cuenta los mismos parámetros que se consideraron en el diseño del espesor del pavimento convencional, excepto el módulo de elasticidad del hormigón y resistencia media del concreto, estos parámetros son las variables dentro del proceso de calculo

Ver en ANEXOS el procedimiento.

Teniendo todos los factores de diseño se puede determinar el espesor de la capa del pavimento reforzado con fibras de polipropileno, que es el siguiente:

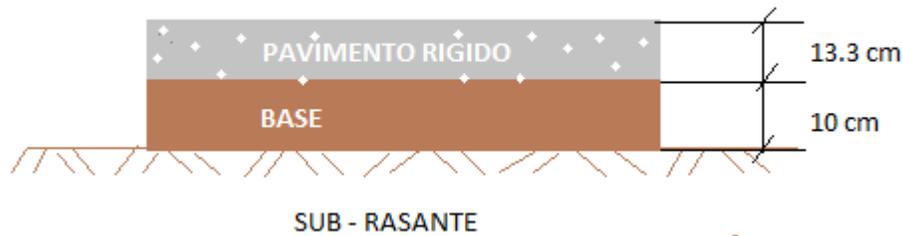
- Espesor de pavimento reforzado con fibras de polipropileno (0.6 kg/m^3)

$$D=5.31 \text{ plg} =13.5 \text{ cm}$$



- Espesor de pavimento reforzado con fibras de polipropileno (1.8 kg/m^3)

$$D= 5.23 \text{ plg} =13.3 \text{ cm}$$



- Espesor de pavimento reforzado con fibras de polipropileno (3 kg/m^3)

$$D= 5.03 \text{ plg} =12.8 \text{ cm}$$



3.9. ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS

El análisis de precio unitario es el costo de una actividad por unidad de medida escogida. Usualmente se compone de una valoración de los materiales, la mano de obra, equipos y herramientas.

Se realizó el análisis de precios unitarios para cada tipo de pavimento, como ser, 335 pavimento convencional, pavimento reforzado con fibras de acero (17.5, 25 y 32.5 kg/m³) y el pavimento reforzado con fibras de polipropileno (0.6, 1.8 y 3 kg/m³) Los resultados son los siguientes:

- Resultado del análisis económico de la carpeta de rodadura con hormigón convencional.

443.02 bs/m²

- Resultado del análisis económico de la carpeta de rodadura con hormigón reforzado con fibras de acero en una dosificación de 17.5 kg/m³

380.02 bs/m²

- Resultado del análisis económico de la carpeta de rodadura con hormigón reforzado con fibras de acero en una dosificación de 25 kg/m³

386.07 bs/m²

- Resultado del análisis económico de la carpeta de rodadura con hormigón reforzado con fibras de acero en una dosificación de 32.5 kg/m³

409.12 bs / m²

- Resultado del análisis económico de la carpeta de rodadura con hormigón reforzado con fibras de polipropileno en una dosificación de 0.6 kg/m³

325.44 bs / m²

- Resultado del análisis económico de la carpeta de rodadura con hormigón reforzado con fibras de polipropileno en una dosificación de 1.8 kg/m³

335.45 bs / m²

- Resultado del análisis económico de la carpeta de rodadura con hormigón reforzado con fibras de polipropileno en una dosificación de 3 kg/m³

342.52 Bs / m²

CAPITULO IV
ANALISIS DE RESULTADOS

CAPITULO IV

4. COMPARACIÓN DE RESULTADOS

4.1. COMPARACION DE RESULTADOS DEL ENSAYO DE LA TRABAJABILIDAD

Este ensayo fue ideado por el investigador norteamericano Abrams, una mezcla bien diseñada debe ser capaz de ser mezclada, transportada, colocada y compactada con el equipamiento disponible. La aptitud de la mezcla para que tenga una correcta terminación también es un factor a tener en cuenta, debiendo minimizarse la exudación y la segregación.

La tabla 4.1 muestra un resumen del asentamiento medido durante el proceso de preparación de la mezcla con la adición de diferentes cuantías de fibras de acero. La dosificación fue hecha para 35 mm de asentamiento. La adición de las fibras de acero provoco un menor asentamiento que el hormigón convencional de 0.5, 1 y 1.6 cm respecto al Hormigón Convencional.

Tabla 4.1 Resultados de asentamiento con las fibras de acero

DESIGNACIÓN	CUANTIA MEDIA (Kg/m³)	PROMEDIO DEL ASENTAMIENTO (cm)
HC	0,00	3,5
HRFA1	17,5	3
HRFA2	25	2,5
HRFA3	32,5	1,9

Fuente: Elaboración Propia

La tabla 4.2 muestra un resumen del asentamiento medido durante el proceso de preparación de la con la adición de diferentes cuantías de fibras de polipropileno. Se observa claramente que con la adición de las fibras de polipropileno disminuye el asentamiento del hormigón de 0.2, 0.8 y 1.5 con respecto al Hormigón Convencional,

Tabla 4.2 Resultados de asentamiento con las fibras de polipropileno.

DESIGNACIÓN	CUANTIA MEDIA (Kg/m³)	PROMEDIO DEL ASENTAMIENTO (cm)
HC	0,00	3,5
HRFP1	0.6	3,3
HRFP2	1,8	2,7
HRFP3	3	2

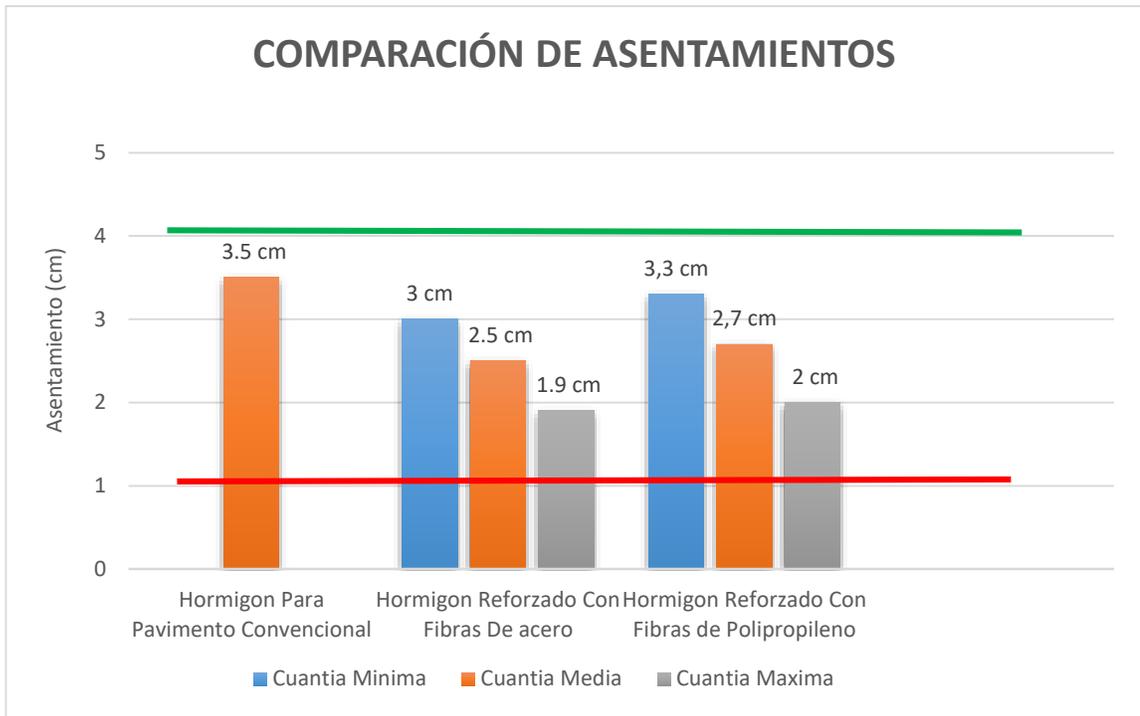
Fuente: *Elaboración Propia*

El asentamiento de las mezclas está recomendado entre 2 a 5 cm según el método ACI 211 de 2 a 3,5 cm cuando la mezcla es compactada utilizando un vibrador mecánico y de 3,5 a 5 cm cuando se usa vibradores manuales.

Según recomendaciones de la IBCH la *consistencia del hormigón para pavimentación debe estar comprendido entre 4 +/- 1 cm y entre 3 +/- 1cm en el pie de la pavimentadoras deslizante, esta consistencia permite un movimiento suave de la regla vibratoria y facilita el alisado y terminado.*⁵

⁵ *Recomendaciones Constructivas para pavimentos rígidos, Instituto Boliviano del Cemento y el Hormigón.*

Grafica 4.1 Comparación de asentamientos



Fuente: *Elaboración Propia*

Como se observa en el grafico 4.1:

- Tanto el hormigón reforzado con fibras de acero como el reforzado con fibras de polipropileno se encuentran dentro de los límites que nos da la norma ACI 211 para pavimentos rígidos.
- Al añadir fibras ya sean de acero o sintéticas se afecta directamente la trabajabilidad, a mayor cantidad de fibra menor el asentamiento y da como resultado una mezcla más seca, siendo necesario un vibrado adecuado para eliminar vacíos en la mezcla.
- Se observó en los hormigones reforzados con mayor porcentaje de fibra, la trabajabilidad se disminuyó considerablemente, dificultando la distribución en los moldes, siendo este un indicador de que en obra estos hormigones dificultarían el trabajo, incremento del tiempo de vaciado y afinado de la obra.

- Con respecto a cada una de las fibras se puede mencionar que en ambas con el incremento máximo se redujo considerablemente la trabajabilidad del hormigón, no permitiendo una buena distribución de la mezcla.

4.2. COMPARACION DE RESULTADOS DEL ENSAYO A FLEXOTRACCION

Para la presente investigación de comparación del comportamiento de los tres distintos hormigones para pavimento rígido, se partió de una resistencia de diseño la cual es de 250kg/cm^2 .

El hormigón se clasifica con respecto a su resistencia específica a flexotracción, es medida en probetas prismáticas y ensayadas de acuerdo a la NB 640, a la edad de 28 días, como se indica en la siguiente tabla 4.4

Tabla 4.3 Clasificación de los hormigones por resistencia a flexotracción

Grados de flexorotación	Resistencia especificada, f_t	
	MPa	kgf/cm ²
HF 3	3,0	30
HF 3,5	3,5	35
HF 4	4,0	40
HF 4,5	4,5	45
HF 5	5,0	50
HF 5,5	5,5	55
HF 6	6,0	60

Fuente: Norma Boliviana NB 604 Hormigones-Requisitos

Para poder comparar las resistencias obtenidas, se tomara el valor medio de los ensayos en cada tipo de hormigón preparado para el presente estudio, se lo presenta a continuación.

Tabla 4.4 Resistencia del hormigón para pavimento y Relación entre esfuerzos

Tipo De Hormigón	Resistencia Mpa
Hormigón Convencional	3,53
H. Reforzado con Acero 25kg/m3 (Recomendado)	4,74
H. Reforzado con Acero 17,5kg/m3 (Mínimo)	3,98
H. Reforzado con Acero 32,5 kg/m3 (Máximo)	4,78
H. Reforzado con Polipropileno 1,8 kg/m3 (Recomendado)	3,75
H. Reforzado con Polipropileno 0,6 kg/m3 (mínimo)	3,53
H. Reforzado con Polipropileno 3 kg/m3 (Máximo)	3,94

Fuente: *Elaboración Propia*

- **Relación entre la resistencia a Flexión respecto a la resistencia a Tracción**

El Modulo de rotura varía entre 10 a 20% de la resistencia a compresión, existen fórmulas para estimar la resistencia a flexión partiendo de la resistencia a compresión, cuando no existan ensayos de flexión.⁶

$$Mr = K * Rc^{1/2}$$

Mr = Modulo de rotura estimado (kg/cm2)

Rc= Resistencia a compresión Obtenida (kg/cm2)

K= Constante que varía de entre 2 a 2.7 para resistencia en kg/cm2

- **Relación entre la resistencias que ofrece el Hormigón**

El Compendio de Tecnología del Hormigón, también proporciona una correlación de la resistencia a flexotracción, tracción directa y tracción indirecta. Estos valores han sido correlacionados por distintos investigadores. Los resultados medios obtenidos, se resumen en la siguiente tabla.⁷

⁶ Fuente: *Libro De Concreto Simple – Ing. Gerardo A. Rivera. L*

⁷ *Hernán Zabaleta - Compendio de Tecnología del Hormigón – Instituto Chileno del Cemento*

Tabla 4.5. Relación Del Valor De La Resistencia A Compresión, Con Las Resistencias A Flexotracción Y Tracción

R_c (kg/cm ²)	R_f/R_c	R_t/R_c	R_h/R_c
70	0.21	0.11	0.14
140	0.19	0.10	0.12
210	0.16	0.09	0.11
280	0.15	0.08	0.10
350	0.14	0.08	0.10
420	0.13	0.07	0.09

R_c : resistencia a compresión
 R_f : resistencia a flexotracción
 R_t : resistencia a tracción directa
 R_h : resistencia a tracción indirecta o hendimiento

Fuente: Hernán Zabaleta - Compendio de Tecnología del Hormigón – Instituto Chileno del Cemento

Interpolando el valor de R_f/R_c para una resistencia de 250 kg/cm² de R_c , dio un resultado de $R_f/R_c = 0.154$

Tabla 4.6 Resistencia del hormigón para pavimento y Relación entre esfuerzos

Clase de hormigón	Resistencia a los 28 días (kg/cm ²)		
	Flexión	Compresión	Relación adimensional

Hormigón para Pavimentos con refuerzo se acero	35.98	250	0.1439
Hormigón Reforzado con Fibras de acero en 25 kg/m ³	48.35	250	0.19
Hormigón Reforzado con Fibras de acero en 17.5 kg/m ³	40.57	250	0.16
Hormigón Reforzado con Fibras de acero en 32 kg/m ³	48.76	250	0.19
Hormigón Reforzado con Fibras de polipropileno 0.6 kg/m ³	36.41	250	0.145
Hormigón Reforzado con Fibras de polipropileno 3 kg/m ³	34.53	250	0.138
Hormigón Reforzado con Fibras de polipropileno 1.8 kg/m ³	34.62	250	0.138

Fuente: *Elaboración Propia*

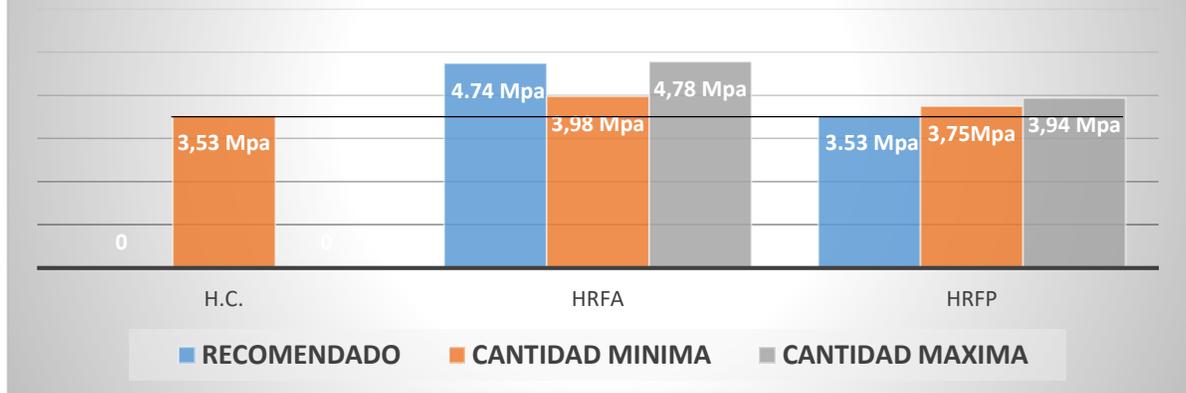
Se relacionó la resistencia a tracción que ofreció cada tipo de hormigón con la resistencia a compresión con la que se dosifico que fue 250 kg/cm³. Se observa que la resistencia a flexión se encuentra en el orden de entre 13.848 y 19.504 %, comparada con la resistencia a compresión.

Se observa que la resistencia a flexión se encuentran dentro de los límites que nos indica la bibliografía de 10% a 20%, de la resistencia a compresión.

Referente al compendio de Tecnología del Hormigón del Instituto Chileno Del Cemento, el promedio de ruptura de la viga de Hormigón Convencional tuvo una relación de 0.1439, pudiendo llegar este a una resistencia a compresión mayor a 250Kg/cm². Se observa que si la resistencia a flexión es mayor la resistencia a compresión será menor, como el caso de los hormigones reforzados con fibras de acero.

Grafica 4.2 *Comparación del módulo de resistencia de flexotracción*

CUANDRO COMPARATIVO DEL MODULO DE RESISTENCIA



Fuente: Elaboración Propia

Según los resultados obtenidos y se puede identificar:

- El hormigón convencional que fue diseñado con una resistencia a compresión de 250kg/cm², obtuvo un módulo de rotura de 3.53 Mpa, y se lo podría identificar según la norma boliviana NB604, como un hormigón HF 3,5.
- Al añadir fibras de acero se evidencia un incremento en la resistencia de rotura, y este incremento depende directamente del porcentaje de fibras añadidas a la mezcla.
- Se observó que a partir del incremento de 25 kg/m³ (recomendado) a 32,5 kg/m³, el incremento ya no fue tan considerable.
- La incorporación de fibras sintéticas de polipropileno, también manifestaron un incremento en la resistencia del hormigón, no tan considerable.
- No se observó un incremento considerable de la resistencia con las fibras de polipropileno, esto se lo puede mencionar como producto de que se consiguió una mezcla más seca que las demás.
- Estos resultados indican que las fibras de polipropileno no serían una buena alternativa de refuerzo para pavimento, puesto que no incrementa de manera importante en su resistencia, mas sin embargo tiene otras propiedades que

brinda su ficha técnica respecto a la dilatación y resistencia a temperaturas altas y bajas.

- En el momento de la ruptura, las vigas elaboradas con el hormigón convencional se partieron en 2 pedazos al igual que con las fibras de polipropileno en sus tres cantidades, sin embargo en las fibras de acero estas no se partieron solamente se presentó una fisura, la cual era más notoria en las que tenían la cantidad mínima añadida de fibras, en la cantidad máxima de fibras esta fisura era casi inapreciable.
- Lo mencionado en el anterior punto, es un indicador de que las fibras de acero actúan con un refuerzo estructural y puede ser utilizado sin ningún problema en carreteras de alto tráfico o plataformas de carga. Después de la ruptura pueden seguir trabajando, evitando daños rápidos en el pavimento.
- La incorporación de fibras de acero puede reducir importantemente el espesor de pavimento, siendo este factor importante en el aspecto económico.
- La incorporación de fibras reducirían agrietamientos en el pavimento.

4.3. COMPARACION DE RESULTADOS DEL DISEÑO DE ESPESORES

Espesores Calculados Para Los Distintos Tipos De Hormigón

A continuación se presenta una tabla con los resultados obtenidos.

Tabla 4.7 Resumen de espesores

.Tipo de Hormigón		Espesor	
		plg	Cm
Hormigón Convencional para pavimento con acero de refuerzo		5.31	13.51
Hormigón reforzado con fibras de acero	17,5 kg/m3	5	12.7
	25 kg/m3	4.37	11.1
	32,5 kg/m3	4.33	11
Hormigón reforzado con polipropileno	0,6 kg/m3	5.31	13.5
	1,8 kg/m3	5.23	13.3
	3 kg/m3	5.03	12.8

Fuente: Elaboración Propia

Grafica 4.3 Comparación de espesores de carpeta del pavimento



Fuente: Elaboración Propia

Se observa en los resultados:

- El espesor del hormigón convencional para pavimentos con acero de refuerzo es el espesor de referencia para la comparación, se obtuvo un espesor de 13.51 plg.

- Con ayuda del grafico se observa claramente que las fibras de acero contribuyeron a reducir el espesor de la losa.
- Añadiendo 17.5 kg/m³ de fibras de acero se consiguió disminuir el espesor en 0.8, añadiendo 25 kg/m³ se disminuyó en 2.41 cm esta cantidad es la recomendada por fabricantes, finalmente añadiendo 32,5 kg se logró disminuir el espesor en 2.51 cm.
- El lograr disminuir el espesor contribuye directamente en una disminución del costo.
- En el grafico se observa que las fibras de polipropileno disminuyeron el espesor pero no como las de acero.
- Al añadir 0.6 kg/m³, no tuvo ninguna incidencia sobre la resistencia del hormigón como así en el espesor, pero ya se logra disminuir el espesor al añadir 1.8kg/m³ en 0.21 cm y al añadir 3 kg/m³ que es la cantidad máxima recomendada por fabricantes se logró reducir el espesor en 0.7 cm.
- Las fibras de polipropileno no contribuyeron significativamente en la reducción de los espesores como también en la resistencia del hormigón.
- El diseño de los espesores se realizó tomando en cuenta los mismos parámetros, variando únicamente el porcentaje de las fibras. Ambos materiales permitieron una rebaja en el espesor de la losa con respecto al convencional, pero el reforzado con fibras de acero reduce el espesor y aumenta la resistencia de este, indicando que las fibras de acero se comportan como refuerzo estructural.

4.4. COMPARACION DE RESULTADOS DE COSTOS

El análisis de precios unitarios se lo realizo para un metro cuadrado de losa. Se obtuvo los siguientes costos:

Tabla 4.8 Comparación de costos de los pavimentos

Tipo de Hormigón				Espesor		Costo por m ²	Reducción de Costo
				D (plg)	Cm	Bs	%
Hormigón Convencional				5.31	13.51	443.02	
Hormigón	reforzado con	fibras de acero	17,5 kg/m ³	5	12.7	380.02	-14.22057695
			25 kg/m ³	4.37	11.1	386.07	-12.85495012
			32,5 kg/m ³	4.33	11	409.12	-7.652024739
Hormigón	reforzado con	Polipropileno	0,6 kg/m ³	5.31	13.5	325.44	-26.5405625
			1,8 kg/m ³	5.23	13.3	335.45	-24.28107083
			3 kg/m ³	5.03	12.8	342.52	-22.68520609

Fuente: Elaboración Propia

- a) Con respecto al precio por metro cuadrado de un hormigón reforzado con acero para pavimento rígido se obtuvo un precio de 443.02 bs, este costo se compara los costos obtenidos de los demás hormigones.
- b) Para un hormigón reforzado con fibras de acero con 17,5 kg/m³, se calculó un costo de 380.02 bs, se evidencia una rebaja del costo en un 14.22% con respecto al hormigón convencional, pero también se observó que se disminuyó el espesor de la losa en 0.99 cm.
- c) En el caso del hormigón reforzado con el porcentaje óptimo que es 25kg/m³, se observa una rebaja en del costo en un 12.85%.
- d) Y en el hormigón reforzado con un 32,5kg/m³ de fibras de acero se observa una rebaja ya menor de 7.65%.
- e) En los tres casos se evidencia una rebaja de costo como también en los espesores.

- f) En el caso de las fibras sintéticas, el hormigón reforzado con 0.6kg/m³ rebajo el costo en comparación con el convencional en un 26.54 % del precio pero ninguna rebaja en el espesor de la losa.
- g) Y en los hormigones reforzados con 1,8kg/m³ y 3kg/m³ rebajaron en 24.28 y 22.68 % respectivamente. Y también manifestaron reducción en sus espesores.
- h) Se evidencia un menor costo en la elaboración de pavimentos fibroreforzados ya sea con fibras de acero o de polipropileno.
- i) Las fibras de polipropileno reducen considerablemente los espesores pero no brindan un incremento en la resistencia considerable con respecto a las de acero.
- j) Las fibras de acero brindan un incremento en la resistencia y una disminución en el espesor y en el costo por metro cuadrado de pavimento.
- k) Para el hormigón convencional se consideró la parrilla de refuerzo, y para todos los casos un camión mixer u hormigonero para llevar el análisis a lo real.

4.5 OBSERVACION Y VALORACION PRÁCTICA DEL TRABAJO DE CAMPO

- Las muestras de hormigón con refuerzo de acero no se rompieron, solo se presentó una grieta y en el caso de mayor porcentaje de fibra esta grieta o fisura no era notoria.

Todas las muestras de hormigón reforzado con acero se rompieron dentro del tercio central, de la viga siendo este un indicador de una buena distribución de las fuerzas en su interior.

- En las muestras de Hormigón convencional como en las de reforzado con fibras de polipropileno, estas se partieron en dos pedazos, de igual manera se rompieron dentro del tercio central, como se muestra.
- Las fibras tienen una ventaja con respecto a las losas de concreto simple, ya que contribuyen en todo su espesor gracias a la distribución tridimensional de las fibras dándole al piso una mayor resistencia a las solicitaciones de carga durante su vida útil.

- No se necesita mano de obra calificada para agregar la fibra al hormigón mezclado, solo se requiere de un técnico que instruya al personal la primera semana para la adecuada utilización de la fibra, la cual es muy simple.
- El procedimiento constructivo del pavimento reforzado con armadura de acero es más tedioso que el del pavimento reforzado con fibras, ya que se debe verificar que la parrilla este nivelada y bien colocada en toda su área por ello al utilizar fibras se ahorra tiempo de construcción.
- Se determina que con la incorporación de fibras en la mezcla de hormigón se logra incrementar su resistencia, como así disminuir el espesor de la carpeta de rodadura en pavimento rígido y esto conlleva a una disminución del costo, pudiendo justificar la mayor aplicación de hormigones reforzados en la aplicación para pavimento rígido.
- El hormigón reforzado con fibras de acero en relación al hormigón con acero de refuerzo, presento una disminución de los costos, permitió una rebaja en el costo pudiendo eliminarse el refuerzo de acero en los pavimentos convencionales presentando a las fibras de acero como una alternativa viable, para su aplicación en pavimentos rígidos.

